

**REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA: DESDE LA PREVENCIÓN E
INHIBICIÓN DE LA CORROSIÓN INTERNA GENERADA EN GASODUCTOS.**

JORGE ALEXANDER RODRÍGUEZ ACEVEDO

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE INTEGRIDAD Y CORROSIÓN
TUNJA
2019**

**REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA: DESDE LA PREVENCIÓN E
INHIBICIÓN DE LA CORROSIÓN INTERNA GENERADA EN GASODUCTOS.**

JORGE ALEXANDER RODRÍGUEZ ACEVEDO

**Monografía para optar al título de Especialista en Gestión de Integridad y
Corrosión**

**Profesor
Phd: José Anibal Serna Gil**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE INTEGRIDAD Y CORROSIÓN
TUNJA
2019**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
Objetivos	10
Objetivo General:	10
Objetivo Específico	10
Justificación	11
MARCO DE REFERENCIA.....	12
Importancia de la Corrosión desde la purificación de Aminas dentro del gas.	12
Electroquímica y corrosión: El daño generado por la corrosión en piezas y gasoductos.	12
Impacto de la Corrosión por CO ₂ y corrosión ácida	13
Protección catódica (CP):.....	15
Control de corrosión por nanopartículas	17
Corrosión en plantas alcanonolalcanolaminas	20
Estudio a priori para la construcción de gasoducto en relación a la prevención o inhibición de la corrosión: aspectos de otras variables	21
DISEÑO METODOLÓGICO	26
Fases metodológicas	26
Análisis Bibliométrico:	26
Recolección de la información.	27
Procesamiento y análisis de la información.	27
Presentación de los resultados de la revisión sistemática: Prevención e inhibición de la corrosión interna generada en gasoductos.	29
Generación de resultados de análisis	32
Documentos seleccionados de la Bibliometría para la Revisión Sistemática.	39
Desarrollo de la revisión e interpretación desde el análisis de contenido web	40
Resultados del Análisis del Contenido Web.	41
RESULTADOS.....	43
CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

LISTA DE TABLA

Tabla 1. Comparación de bases de datos sobre el tópico de investigación.	29
Tabla 2. Protocolo de búsqueda exploratoria.	30
Tabla 3. Proceso prototipado para la elaboración de la ecuación de búsqueda.	31
Tabla 4. Ecuación de búsqueda definitiva del análisis bibliométrico	31

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Circuito de CP	15
Figura 2. Formadores de películas.....	16
Figura 3. Cronoamperimetría para las nanopartículas de Óxido de Níquel. ..	17
Figura 4. Cronoamperimetría para las nanopartículas de plata	18
Figura 5. Escala de valores para la efectividad de la acción.....	21
Figura 6. Lista de puntuación para protección catódica	23
Figura 7. Asignación de valores para materiales de revestimiento	23
Figura 8. Puntuación para factores de antigüedad del ducto	24
Figura 9. Puntuación para la proximidad entre otros metales y el ducto	25
Figura 10. <i>Etapas de la Bibliometría.</i>	27
Figura 11. <i>Proceso de Bibliometría.</i>	32
Figura 12. Publicaciones por áreas de investigación	33
Figura 13. <i>Publicaciones por categorías de investigación</i>	33
Figura 14. <i>Publicaciones por países participantes.</i>	34
Figura 15. <i>Publicaciones por año.</i>	34
Figura 16. Aduna Clúster Map palabras claves.....	35
Figura 17. <i>Publicaciones por áreas de investigación</i>	37
Figura 18. <i>Dinámica de publicaciones por categorías de investigación</i>	37
Figura 19. Publicaciones por países participantes.	37
Figura 20. Publicaciones por año.....	38
Figura 21. Publicación por autores.....	38
Figura 22. <i>Dinámica de publicación por continente.</i>	39
Figura 23. <i>Dinámica de publicación por países.</i>	39
Figura 24. Proceso análisis de contenido web.	40
Figura 25. Dinámica de publicación por ámbito.	41
Figura 26. Dinámica de publicación por países.....	41
Figura 27. Dinámica de publicación por año.	42

RESUMEN

Uno de los sectores industriales más afectado por la corrosión y con mayores consecuencias negativas por la misma es la industria de los gases. Tanto que el diseño de plantas y vías de transporte de gas contempla entre sus prioridades estrategias para la inhibición y prevención de la corrosión tanto interna como externa. Así, para el interés del presente estudio, el fenómeno de corrosión a explorar es el que sucede en el interior de los gasoductos.

En relación a esto se tiene que, a través del tiempo han surgido estudios y avances que proponen el uso de nuevos inhibidores de corrosión y estrategias para la prevención de la misma. Sin embargo, aunque han existido mejoras en las formas de manejo de los procesos de corrosión dentro de los sistemas de conducción y tratamiento de gas, sigue siendo esto una problemática constante que afecta a la industria de este sector.

Con el fin de conocer dichos estudios el presente documento propone desde una metodología de revisión sistemática tomando en cuenta las palabras clave de la investigación para la búsqueda, sin embargo, se tiene como principal resultado la constante de tratamientos de la corrosión desde la protección catódica, pero también el avance en nuevas técnicas como la creación de nanoestructuras para el revestimiento interno de los ductos por nanopartículas.

Palabras Clave: Corrosión Interna, Inhibición, Gasoductos, Revisión Sistemática, gases y materiales.

INTRODUCCIÓN

La corrosión, como una condición problemática, surgió como consecuencia del desarrollo industrial, pues este originó la producción de miles de toneladas de acero que, año tras año, aumenta. En un principio el deterioro de las piezas se solventaba reemplazándolas. No obstante, con el paso del tiempo en miras a la optimización de recursos y del funcionamiento de las maquinarias, estructuras o demás sistemas que requirieran mantenimiento por deterioro, se optó por el estudio y propuesta de técnicas para la prevención de procesos de deterioro que afectaran la producción y, en general, el desempeño de la industria.

La industria del gas es uno de los sectores mayormente afectados por la aparición de corrosión, pues esta puede generar, entre otras cosas, consecuencias mortales para los individuos que puedan estar expuestos a la fuga, por ejemplo (el mayor temor tras aparecer corrosión). Los costos, el tiempo y las pérdidas que se originan por la aparición de procesos corrosivos en gasoductos son el foco de atención de la ingeniería de metales y la ciencia de la corrosión para el mejoramiento y la creación de técnicas de intervención para el manejo de ese fenómeno.

En consecuencia, diversos (pero no demasiados) estudios han surgido en Latinoamérica para la prevención y la inhibición de procesos de corrosión. De ahí que los que ya existen establecen un punto de partida, además sientan la necesidad de ampliar el estado de investigación en este campo. A continuación, se presentarán, desde una revisión sistemática, algunos estudios importantes y reconocidos, que abordan la prevención y la inhibición de procesos de corrosión interna en gasoductos desde lo internacional hasta lo nacional, teniendo en cuenta la búsqueda por autores, publicaciones, investigaciones entre otro.

Para tal presentación el presente documento dispondrá, en un primer momento, de la definición del problema propiamente dicho, junto con la exposición de unos objetivos que encaminan este trabajo y la justificación del mismo. Seguido de esto se presentará el marco de referencia, compuesto por los estudios recopilados. De ahí, se dará paso a la presentación de la metodología empleada para la indagación y tratamiento de dichos estudios y, por último, se presentarán los resultados, la discusión y las conclusiones que surgirán tras la revisión minuciosa y el proceso de los precedentes investigativos que componen y fundamentan la temática.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los procesos de corrosión además de suponer un riesgo que varía su cualidad y magnitud dependiendo del sector en el que se produzcan, suponen también un costo. Casallas define corrosión como un proceso de múltiples conceptos que bien puede delimitarse como “la destrucción o deterioro continuo a través del tiempo de un material debido a una reacción química o electroquímica con el medio ambiente o el micro ambiente donde se encuentra trabajando u operando el material en cuestión”¹. En ese sentido, la ciencia y la ingeniería misma han pretendido en hallazgo de formas o estrategias para la prevención de ese deterioro del que habla Casallas. En este sentido, la corrosión convalida la ley universal de la entropía², es decir, donde todo tiene un estado de mayor caos y desorden.

La corrosión, como una condición problemática, surgió como consecuencia del desarrollo industrial, pues este originó la producción de miles de toneladas de acero que, año tras año, aumenta. En un principio el deterioro de las piezas se solventaba reemplazándolas. No obstante, con el paso del tiempo en miras a la optimización de recursos y del funcionamiento de las maquinarias, estructuras o demás sistemas que requirieran mantenimiento por daño, se optó por el estudio y propuesta de técnicas para la prevención de procesos de deterioro que afectaran la producción y, en general, el desempeño de la industria.

Dentro de las afecciones que aparecen en el trato del acero y de todos los metales bien sea en estado puro o en aleaciones, aparece como principal problemática la corrosión. La ciencia, y la ingeniería de metales han empleado enormes esfuerzos por pretender la inhibición y la prevención de procesos de corrosión. Algunos científicos y estudiosos han descrito tal empresa como una lucha, guerra o batalla que aún no se termina y que tal vez nunca lo haga. Esto en tanto que la corrosión es, en últimas, la tendencia de un metal por volver a su estado natural. En ese sentido, la corrosión hace parte, entonces, de un comportamiento de los metales en donde aparece como un proceso antonómico.

Para comprender a la corrosión como un proceso problemático, debe contemplarse también que esta, no en todos los casos supone un problema. Descríbase primero que el deterioro de los metales, por lo común, es resultado de reacciones químicas y electroquímicas en donde los metales buscan su equilibrio termodinámico. Así, “la mayoría de procesos de corrosión involucran reacciones de reducción-oxidación (reacciones electroquímicas), para que se desarrollen estos procesos, es necesaria la existencia de tres constituyentes: (1)

¹ CASALLAS, Q. Conceptos básicos de la corrosión. *Revista Ingenio Libre*, 29-32. Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista5/articulos/Conceptos-basicos-de-la-corrosion-2.pdf>. 2005. Pág. 39-41

² NAUSHA, Asrar; BRUCE, Mackay. La corrosión: La lucha más extensa. *Oilfield Review*, 28-2. Disponible en: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/03-corrosion_unlocked.pdf. 2016. Pág. 1-16

unos electrodos (un ánodo y un cátodo), (2) un electrolito, como medio conductor, que en la mayoría de casos corresponde de una solución acuosa, y (3) una conexión eléctrica entre los electrodos³. Tras este proceso se origina, específicamente para el caso del hierro y otros metales, un material en la superficie de los mismos, denominado herrumbre.

La herrumbre puede ser perjudicial o benéfica para el metal, según sean sus cualidades. Cuando tiene una menor densidad que el metal base, provoca que este se desprenda de la superficie, facilitando que la corrosión continúe ocurriendo, consumiendo el material. Por otro lado, para otros tipos de metales, como el aluminio, el níquel o el cromo, los productos de la corrosión tienen una mayor densidad que el material base, formando una capa sólida y estable sobre la superficie de este, evitando que la corrosión se extienda, protegiendo al material⁴. Por ejemplo las manchas de herrumbre que aparecen en una vara de hierro o la pátina verde que se observa en una pieza de cobre son evidencias de los efectos insidiosos de la corrosión⁵.

Cuando esta aparece ocurren fugas, detenciones de funcionamiento de sistemas o detenciones de producción, disminuciones en la calidad de los productos e incluso riesgos vitales y ambientales, sin tomar en cuenta los elevados costos que se deben asumir para corregir los daños. Es evidente que los daños que ocasiona este fenómeno en los materiales metálicos no solo presentan consecuencias graves para la industria metalúrgica, dificultando la acción de procesamiento de minerales y menas, que constituyen el estado natural de los mismos, sino también alterando las condiciones de la atmósfera por los agentes químicos empleados en el contexto donde se originan determinada reacción.

En consecuencia, uno de los sectores industriales más afectado por la corrosión y con mayores consecuencias negativas por la misma es la industria de los gases. Tanto que el diseño de plantas y vías de transporte de gas contempla entre sus prioridades estrategias para la inhibición y prevención de la corrosión tanto interna como externa. Así, para el interés del presente estudio, el fenómeno de corrosión a explorar es el que sucede en el interior de los gasoductos.

En relación a esto se tiene que, a través del tiempo han surgido estudios y avances que proponen el uso de nuevos inhibidores de corrosión y estrategias para la prevención de la misma. Sin embargo, aunque han existido mejoras en las formas de manejo de los procesos de corrosión dentro de los sistemas de conducción y tratamiento de gas, sigue siendo esto una problemática constante que afecta a la industria de este sector.

³ SALAZAR, José Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). *Revista Tecnología en marcha* 127-136. Obtenido de: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v28n3/0379-3982-tem-28-03-00127.pdf>

⁴ Ibid., p. 7

⁵ Ibid., p. 2

La preocupación de las grandes industrias metalúrgicas y los ingenieros responsables del mantenimiento y preservación de los gasoductos en las diferentes locaciones, han hecho que se desarrollen y diseñen múltiples procedimientos encaminados a la prevención y control de la corrosión. Esto porque los defectos “pequeños” existentes en una cañería son tolerados y con frecuencia existencia. El problema ocurre cuando un defecto crece con el tiempo hasta llegar a provocar la falla de la cañería. Se definen como defectos críticos (o defectos de tamaño crítico) a aquellos cuyas dimensiones, largo y profundidad, hacen que la presión de falla *pfalla* sea igual a la presión de operación de la cañería *po*⁶.

En propósito de conocer esos defectos que pueden tolerarse y de conocer los avances en estudios propuestos para el manejo del control e inhibición de procesos de corrosión se propone el presente trabajo desde una revisión sistemática de la literatura, con fines de conocer las estrategias, enfoques, métodos que se han realizado sobre la prevención e inhibición de la corrosión interna en gasoductos en los diferentes contextos de la industria, de esta manera el estado investigativo de esta problemática será la búsqueda exhaustiva de los estudios que se han realizado en países que presenten un grado de impacto generado por la corrosión, de modo que sirva como punto de partida para la elaboración y profundización de futuras estrategias que favorezcan el funcionamiento de la industria del gas en beneficio también de procesos ambientales seguros y sanos.

Objetivos

Objetivo General:

Realizar una revisión sistemática de la producción científica sobre la prevención e inhibición de la corrosión interna en gasoductos.

Objetivo Específico

- Efectuar análisis de la producción científica y contenido web sobre la prevención e inhibición de la corrosión interna en gasoductos.
- Elaborar una síntesis conceptual de los aspectos más importantes relacionados con la prevención e inhibición de la corrosión interna en gasoductos desde el sector metalúrgico.
- Analizar enfoques y metodologías en el comportamiento de la corrosión interna presente en el gasoducto.

⁶ MASSA, Julio; GIUDICI, Alejandro. Daño por efectos de oxidación en gasoductos. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Obtenido de: <http://oilproduction.net/files/226-673-1-PB.pdf>. 2010. Pág. 119-138.

Justificación

Los procesos de corrosión, suponen consecuencias negativas en el funcionamiento de la industria dentro del sistema en el que se generan, además de componer un foco de riesgo importante para la conservación del medio ambiente. Bajo esta premisa base, se propone el presente trabajo orientado a la revisión sistemáticas de estudios precedentes encaminados a la inhibición y prevención de procesos de corrosión interna generada en gasoductos. En consecuencia, este documento radica su importancia y pertinencia en la necesidad de conocer el estado de avance de diversos estudios para el manejo de la corrosión interna en ductos de gas, en tanto que la corrosión, aunque a través del tiempo ha logrado manejarse, aún supone un problema sin solución definitiva.

De otro lado, menciónese que este trabajo se propone para que funcione como punto de partida en la creación de nuevas estrategias o en la profundización de estrategias para el tratamiento de procesos corrosivos en gasoductos. Así, desde la metodología de la revisión sistemática se construye esta antología de antecedentes que describen y sustentan estrategias de mitigación de la corrosión contemplando aspectos económicos, operativos y ambientales.

Finalmente, la temática objeto de estudio concluye por justificarse desde el beneficio que ofrece a la comunidad científica que adelanta estudios desde la ingeniería de metales y desde la química y la electroquímica, al comportarse como una compilación y reflexión de algunos de los procesos adelantados en Latinoamérica, para el manejo de los procesos de corrosión emergentes en gasoductos. Esto en tanto que la consecución de mejoras en los procesos de inhibición y prevención de la corrosión favorecen no solo el funcionamiento operativo y científico de la industria, sino que también favorece el estimado de costos para tratamiento y las incidencias ambientales.

MARCO DE REFERENCIA

En este capítulo se abordan las variables contenidas en la definición del problema, prevención de la corrosión interna⁷ generada en gasoductos, desde la revisión de los diferentes autores especializados en la temática objeto de estudio. En este sentido, la inclinación hacia la reflexión de la corrosión frente a su apropiación y uso, y la inhibición que esta genera en el deterioro de materiales se ha convertido en un tema importante en los últimos tiempos, de allí que la investigación permitió la realización de una revisión sistemática de la literatura teniendo en cuenta los documentos más recientes y novedosos que se han realizado durante los últimos diez años. Cabe expresar que el tema ha resultado complejo para Colombia ya que son pocas las investigaciones que se proponen en cuanto a la prevención de la corrosión e inhibición especialmente en ducto de gas, lo que resultó ser una investigación con un nivel de rigurosidad para lograr alcanzar el objetivo de estudio de esta investigación.

Importancia de la Corrosión desde la purificación de Aminas dentro del gas.

Para la mitigación o inhibición de la corrosión producida por la presencia de Aminas, se tiene el realizado por Vásquez (2013), quien estudia la protección de gasoductos desde la mitigación o degradación de Aminas desde el uso de estas en circuitos cerrados, como una solución eficaz y económica. Además, a través del uso del simulador ASPEN HYSYS V 7.3 establece como válido el tratamiento desde un destilador por fases que reduzca o purifique el contenido de aminas dentro del gas, para que de este modo se controlen los procesos de corrosión del gasoducto y, a su vez, se tenga un mejor tratamiento del gas dentro de la planta, de manera que se logre un producto más puro.

Casi que por un proceso de destilación la inhibición de la corrosión por partículas aminas resulta ser una técnica apropiada y económica que beneficia el trabajo de mitigación de corrosión, puesto que de este modo se reducen casi en su totalidad estas partículas que no solo corroen desde su fricción sino desde la alteración del compuesto ideal del gas.

Electroquímica y corrosión: El daño generado por la corrosión en piezas y gasoductos.

Vásquez (2012) dialoga sobre la preponderancia de corrosión al existir reacción con los gases CO₂ y H₂S en procesos de producción de gas y crudo. Los procesos de mantenimiento y mitigación de la corrosión por estos gases promueven los mantenimientos más costosos y peligrosos para el correcto funcionamiento de las plantas, pues por ser de difícil tratamiento, se generan enormes daños a largo plazo dentro de las piezas y los gasoductos. La corrosión

⁷ SALAZAR, José. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). 2015. Pág. 128

que se genera por estos casos, por lo general, obedece a la corrosión por picaduras, galvánica, tipo meseta y, en algunos casos, por rendijas.

Para estos tipos de corrosión generado por CO_2 y H_2S el autor trata técnicas electroquímicas como la Resistencia a la Polarización Lineal (RP) que, en relación con la ley de Ohm “la diferencia de potencial entre dos puntos resulta en un flujo de corriente limitado por la presencia de una resistencia”⁸. A partir de esta premisa, se tiene que la RP permite determinar la resistencia a la corrosión. Y como la RP es inversamente proporcional a la velocidad de corrosión, se tiene que los materiales con menor RP resultan más resistentes a la corrosión.

La utilización de la RP resulta ser un método económico que, además, puede ejecutarse en un tiempo mucho más reducido que cualquier otro proceso de prevención o inhibición de la corrosión.

De otro lado, el autor propone la Espectropía de Impedancia Electroquímica (EIS)⁹. Esta técnica se fundamenta en una señal de corriente alterna (CA) que se aplica a un electrodo o metal en corrosión. Este proceso mantiene una experimentación gradual en la que se comienza con una pequeña señal que va aumentándose gradualmente dependiendo de la respuesta que se obtenga. Cada una de las frecuencias alcanzadas en los envíos de señales son sometidos a una relación que dará como resultado una serie de valores de impedancia, que su vez, son sometidos a relación con valores de frecuencia, el resultado de tal se denominará entonces espectro de impedancias.

Los espectros de impedancia se analizan por lo común a través de circuitos eléctricos. Así, “la impedancia de un sistema a cada frecuencia está definida por, la razón entre la amplitud de la señal de corriente alterna y la amplitud de la señal de potencial alterno y el ángulo de fase”¹⁰. En consecuencia, la EIS aparece como una técnica que permite intervenir en los procesos de prevención de la corrosión interna de gasoductos, como estrategia determinante para la toma de decisiones frente a los procesos de tratamiento específicos.

Impacto de la Corrosión por CO_2 y corrosión ácida

Cabe expresar, que la corrosión es motivada por la interacción de ciertos elementos. En ese sentido, sería preciso tener en cuenta que hay elementos, gases y sustancias que promueven procesos de corrosión. Dentro de los procesos de funcionamiento de gasoductos, el CO_2 suele presentarse como un

⁸ VÁSQUEZ, W. *Simulación de la unidad de tratamiento de gas combustible con aminas de la refinería estatal Esmeraldas*. Quito: Universidad Central de Ecuador. 2013

⁹ Ibit. p. 44

¹⁰ Ibit. p. 49

agente generador de la corrosión. Bruce, Marko, Jackson, Melot, Sheie, & Vittonato¹¹, especifican que:

Si el CO₂ entra en contacto con el agua en el sistema de producción o de transporte de una operación de petróleo y gas, las áreas habitualmente afectadas son las partes internas del pozo, las redes de recolección y las líneas de conducción. En la corrosión del hierro por CO₂, los productos de la reacción son el ácido carbónico, el carbonato ferroso [FeCO₃] y el gas hidrógeno [H₂].¹² Para que se produzca la corrosión por CO₂, la presión parcial del gas puede ser tan baja como 21 kPa [3 lpc]¹².

Para este tipo de corrosión los autores describen entre las técnicas utilizadas para prevención, el uso de películas orgánicas que funcionan neutralizando la acidez del ácido carbónico que se genera en el proceso de corrosión. Estas películas, actúan, así como potenciales inhibidores. También, para la inhibición y prevención de la corrosión por CO₂, se utilizan aleaciones resistentes a la corrosión (CRAs) cuya capacidad inhibidora radica en soportar las condiciones ambientales que generan la corrosión en metales expuestos a grandes cantidades de CO₂ reactivo.

Otro tipo de corrosión que suele afectar los gasoductos es la corrosión ácida. Los fluidos son considerados ácidos si el gas contiene más de 5,7 mg de H₂S por m³ (4 ppm) de gas natural o si el agua producida posee más de 5 ppm de H₂S.¹⁵ El H₂S en el ánodo reacciona con hierro, lo que da paso a la formación de distintas formas de sulfuro de hierro que al precipitarse forman celdas de corrosión microgalvánicas localizadas. Esas celdas originan picaduras y fisuración por tensocorrosión por sulfuro (SSC) además de fragilidad por hidrógeno. Respecto a esto, los autores explican que:

La fisuración por tensocorrosión es el resultado del esfuerzo de tracción combinado con un ambiente húmedo y a menudo produce picaduras redondas y someras con fondos corroídos, acompañadas por fisuras ramificadas que pueden conducir rápidamente a la rotura. La fragilidad por hidrógeno se produce cuando el Figura 3. Celda de corrosión. Cuando el acero en el agua se oxida, se producen diversas reacciones simultáneamente. En el ánodo, el acero [Fe⁰] se disuelve fácilmente y forma iones ferroso [Fe²⁺] y férrico [Fe³⁺] (no mostrados aquí), y los electrones se desplazan hacia el cátodo. En el cátodo, los electrones reaccionan con el agua [H₂O] y forman iones hidroxilo [OH⁻] y oxígeno [O₂]. Los iones OH⁻ se combinan con el Fe²⁺ solubilizado y forman hidróxido de hierro [Fe(OH)₂]. Oilfield Review MAY 16 Corrosion Fig 3 ORMAY 16 CRSSN 3 Fe⁰ Fe⁰ Fe⁰ Fe⁰ Ánodo Agua Flujo de electrones Acero Cátodo Fe²⁺ Fe(OH)₂ Fe(OH)₂ OH⁻ OH⁻ OH⁻ Reacción anódica Fe⁰ Fe²⁺ + 2e⁻ Reacción catódica H₂O + 2e⁻ 0,5 O₂ + 2OH⁻ Fe²⁺ + 2OH⁻ Fe(OH)₂ Volumen 28, no.2 39 H₂S y el H₂ se difunden en el metal, se recombinan con otras moléculas y generan presión

¹¹ BRUCE, MARKO, JACKSON, MELOT, J., SHEIE, & VITTONATO. La corrosión: La lucha más extensa. *Oilfield Review*. 2016. Pág. 36-50.

¹² *Ibit*. p. 38

en la matriz del metal; los subproductos de la protección catódica, la corrosión galvánica y otros mecanismos pueden producir fragilidad por hidrógeno¹³.

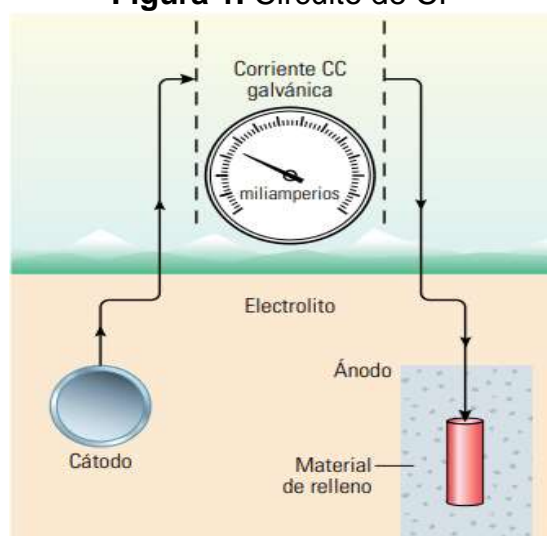
Se menciona que para la prevención de la corrosión ácida se utilizan metales resistentes a la SSC, procesos de limpieza de las líneas de flujo con diablos, materiales formadores de películas orgánicas, secuestradores de H_2S , tratamientos con nitratos, y biocidas que reducen el crecimiento de los microbios que provocan la corrosión MIC.¹⁸ Sin embargo, para la corrosión por oxígeno no se tienen procesos fáciles pues una de las corrosiones más complejas de tratar. Por lo común se acude a secuestradores de oxígeno como el bisulfito de amonio $[NH_4HSO_3]$, el sulfito de sodio $[Na_2SO_3]$ y el bisulfito de sodio $[NaHSO_3]$.²⁰ En adición a estos se utiliza en algunas ocasiones desaireadores por vacío.

No obstante, se han utilizado las siguientes técnicas y formas de inhibición de las corrosiones internas, según Bruce, y otros (2016):

Protección catódica (CP):

Activa o pasiva, la CP “se basa en el movimiento de los electrones (corriente) desde un ánodo externo hasta el equipo que se está protegiendo, que actúa como cátodo”¹⁴. (Ver figura 1).

Figura 1. Circuito de CP



Fuente: Tomado de Bruce, y otros (2016)

Base en la figura 1, los autores mencionan que esta técnica ha sido utilizada por su facilidad económica y operativa y por su eficacia. Aclaran también que:

Para contrarrestar la corrosión, se debe suministrar suficiente densidad de corriente a todas las partes de la estructura protegida y la densidad de corriente

¹³ Ibiti. p. 41

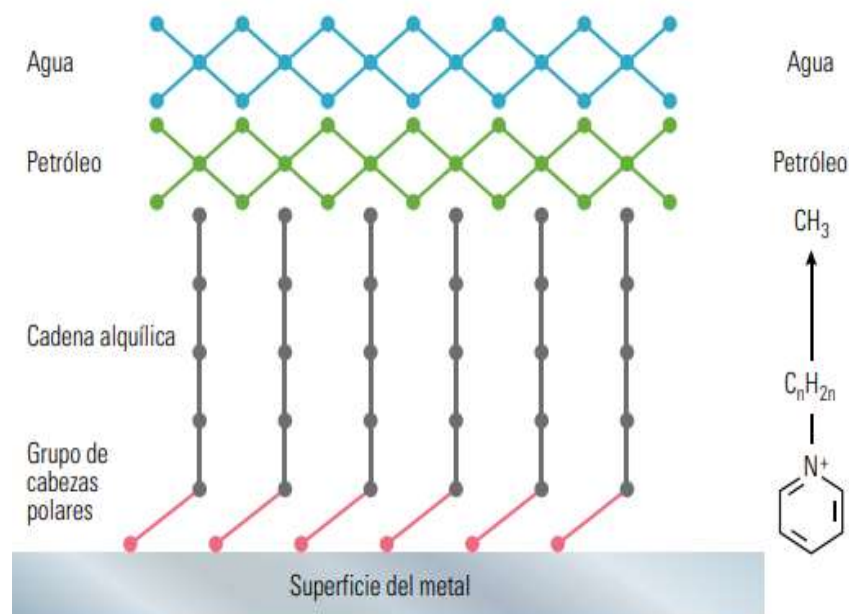
¹⁴ Ibit. p. 42

siempre debe exceder el valor que, bajo las mismas condiciones, sería el índice de corrosión medido. Si el índice de corrosión se incrementa, se debe incrementar la densidad de corriente impresa.³¹ Si bien el costo inicial del equipamiento puede ser más elevado para la CP con corriente impresa que para la protección de sacrificio, esta técnica puede resultar menos costosa en el largo plazo porque los ánodos de sacrificio no necesitan ser reemplazados. La CP con corriente impresa también posee la ventaja de proporcionar al operador información acerca de la extensión de la corrosión con el tiempo¹⁵.

Menciónese, pues que respecto a esta técnica se han tenido resultados satisfactorios en casos de hasta un 92%.

De otro lado, se tiene el tratamiento de la corrosión por inhibidores.

Figura 2. Formadores de películas



Fuente: Tomado de Bruce, y otros (2016)

Con base en la figura 2, se observa que los inhibidores de corrosión tienen como objetivo “interrumpir el proceso electroquímico por el cual se forma la celda de corrosión entre el metal y los líquidos presentes en y alrededor del equipo”¹⁶. Estos se comprenden dentro de un método flexible y económico que, además, permite alteraciones en su aplicación si es que existe un cambio en las condiciones, que lo requiera. Se ha demostrado una efectividad del 91% a largo plazo en la utilización de inhibidores en procesos de control de corrosión.

¹⁵ Ibit. p. 42

¹⁶ Ibit. p.50

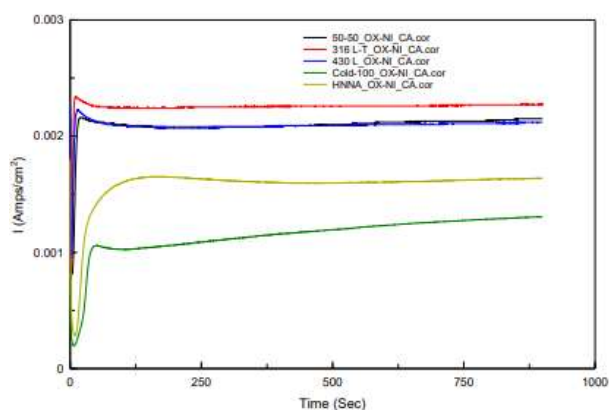
Control de corrosión por nanopartículas

La ciencia de metales en sus avances y ha logrado ofrecer la posibilidad de obtener como aporte novedosamente significativo el aprovechamiento de nanopartículas y nanoestructuras. En este sentido se afirma que:

Con un espesor de superficie oscilante entre 1 y 100 nm, estos materiales de revestimiento poseen propiedades únicas que los hacen casi impermeables a la corrosión. Las nanopartículas y las nanoestructuras pueden depositarse sobre la superficie de los metales como películas, en forma similar a las técnicas de formación de películas, pero debido a la mayor persistencia de las nanopartículas, su re-aplicación es innecesaria.¹⁷

En importante expresar que estos aportes generan que las superficies sean mucho más lisas, reduciendo casi que en su totalidad la existencia de coeficientes de fricción que produzca desgastes en los materiales, lo que, además garantiza durabilidad. Asimismo, cabe resaltar que nuevos estudios de corrosión por nano partículas han develado una reducción del 98% a largo plazo. Durante la búsqueda de documentos se encontró que un estudio específico respecto al control e inhibición de la corrosión por nanopartículas¹⁸ trata cinco tipos de acero inoxidable: ACERO 316L, ACERO 430L, ACERO 50/50 (DÚPLEX), ACERO HNSS, ACERO COLD-100. En estos metales se empleó revestimiento con nanopartículas de diferente tipo. En el primer caso, se añadieron nanopartículas de Óxido de Níquel, en este sentido, “se prepara una disolución de 25 ml de agua desionizada a la que se le añaden 0,005 g de nanopartículas de óxido de níquel. Esta disolución junto con la de polipirrol y DBSA”¹⁹ (ver figura 3).

Figura 3. Cronoamperimetría para las nanopartículas de Óxido de Níquel.



Fuente: tomado de Bello (2008)

¹⁷ Ibit. p. 51

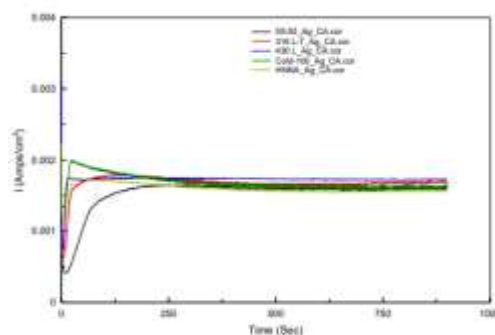
¹⁸ BELLO. 2008

¹⁹ Ibit. p.45

Adicional Bello realiza otra muestra experimental con nanopartículas de plata. La realiza a partir del método Creighton en donde se pretende la reducción del AgNO_3 mediante el reductor NaBH_4 . El autor describe:

Para ello se pesan 0,008 g de NaBH_4 y se añaden a 100 ml de agua desionizada, obteniendo de esta manera una disolución 2 mM. A continuación, se pesan 0,0168 g de AgNO_3 y se diluyen también en agua desionizada consiguiendo una disolución 1 mM. Por último, se colocan 30ml de NaBH_4 en un baño de hielo bajo una agitación vigorosa durante 3 minutos, al que se le irán añadiendo, gota a gota, 10 ml de AgNO_3 (Bello, 2008).

Figura 4. Cronoamperimetría para las nanopartículas de plata



Fuente: tomado de Bello (2008)

Seguido de esto, el autor²⁰ somete las muestras a un ataque controlado de ácido oxálico, para que actúe como ánodo en una solución acuosa de ácido oxálico al 10% y como cátodo la probeta de acero inoxidable. El parámetro utilizado para el ataque corresponde a una densidad de corriente de 1 Amperio/cm² durante 60 segundos en aproximado. Tras el tiempo de prueba, el autor describe los siguientes resultados:

Para el acero austenítico AISI 316L se tiene:

Disolución muy leve, tras el tiempo de inmersión en el ataque electrolítico no se observa la disolución en los bordes de grano, que ni tan siquiera se revelan en su totalidad. En algunas zonas si se pueden observar bordes de grano rectos con forma poligonal y libres de precipitados, los cuales permiten identificar la estructura austenítico escalonada (step), sin riesgo de corrosión intergranular. Algunos granos presentan una precipitación de tipo transgranular muy fina²¹.

Para el Acero Inoxidable Ferrítico AISI 430L se tiene:

²⁰ Ibit. p. 46

²¹ Ibit. p. 48

Un único microconstituyente homogéneamente distribuido por toda su superficie. Si se aplican mayores aumentos se puede distinguir un tipo de estructura formado por agujas gruesas y placas que se asemeja a la estructura martensítica, por lo que de manera muy probable se trate de un constituyente mixto integrado por ferrita y martensita. En este caso tampoco se observa disolución en los bordes de grano, un indicador de presencia de estructura tipo step, por lo que el riesgo de sufrir corrosión intergranular es mínimo. Si se pueden apreciar determinadas zonas de disolución en el interior del grano, que podrían corresponder con ciertos precipitados globulares y aislados²².

Para el Acero Inoxidable Dúplex 50/50 se tiene:

Aparición de dos microconstituyentes diferentes. Uno de ellos más blanco que es austenita y otro que recuerda al constituyente mixto observado en el acero ferrítico anterior. El constituyente más oscuro aparece en menor cantidad que el constituyente más claro rico en austenita. La precipitación sigue siendo prácticamente nula en ambos constituyentes ya que no observamos ataque intergranular ni transgranular. A mayores aumentos se observa una ligera precipitación de tipo transgranular que afecta a ambos microconstituyentes.²³

Para el Acero Inoxidable HNSS se tiene: “una estructura austenítico de grano muy fino, pero con fases precipitadas en borde de grano. Se aprecian algunas formas circulares y aparecen agujas que podrían corresponder a martensita; las islas de ferrita son minoritarias”²⁴.

Para el Acero Inoxidable Cold-100 se tiene:

Una disolución del material a partir de los poros sin ver la microestructura. Esto indica que el material es muy resistente al ataque electrolítico realizado y experimenta un proceso de disolución en los resquicios o poros de la estructura, corrosión en grietas sin que se revele el borde de grano. Ello puede ser consecuencia del alto porcentaje de elementos de aleación que hacen que tengamos una estructura austenítica, fase blanca, muy resistente al ataque químico²⁵.

De lo anterior, se aduce que la modificación del revestimiento con nanopartículas metálicas se obtiene una mejora en la resistencia a la corrosión del material; en donde la variable de mayor influencia en la resistencia de la transferencia electrónica es la composición del polvo de acero. Además de que en todos los casos de ensayo se obtuvo una ligera mejoría al añadir nanopartículas de plata. Luego de esto el autor también concluye que se obtiene, en similitud a lo anteriormente descrito un comportamiento de las nanopartículas de óxido de níquel, que difieren en función del material.

²² Ibid. p. 48

²³ Ibid. p. 49

²⁴ Ibid. p. 51

²⁵ Ibid. p. 52

El resultado más importante de este trabajo con nanopartículas para la inhibición de la corrosión aparece tras observar que “los revestimientos con nanopartículas no suponen una mejora en lo que respecta al potencial y la velocidad de corrosión, sino que la mejora más sustancial es en la estabilidad de la capa pasiva”²⁶. Con base en lo anterior, es importante expresar que:

Tras 50 días de inmersión en el medio de los materiales recubiertos con nanopartículas de plata, se puede observar un cierto deterioro del comportamiento desde el punto de vista termodinámico, pero sin embargo la pasividad es más estable. En los revestimientos modificados con nanopartículas de plata se conserva el buen comportamiento frente a la corrosión con el tiempo siendo especialmente recomendable el acero superaustenítico tipo Cold-100 por su buen comportamiento anódico²⁷.

Del estudio anteriormente mostrado se obtiene un precedente importante que da cuenta de las implicaciones positivas del avance en técnicas de inhibición y prevención de la corrosión a partir del uso de la nanotecnología que, además supone uno de los avances más importantes de la ciencia de partículas y, para este caso, de la ciencia de metales y el proceso que realiza la industria metalúrgica.

Corrosión en plantas alcanonolalcanolaminas

Este tipo de corrosión surge con mayor índice de representación problemática en las plantas de purificación de gas natural en donde se utilicen soluciones de alcanolaminas como solventes. Se estima que la corrosión en plantas alcanolaminas aparece por la preponderancia de gases ácidos dentro de las corrientes de gas natural. Si los gasoductos no poseen inhibidores aparece una corrosión por mecanismos electroquímicos en las que se origina un ion férrico.

La degradación de alcanolaminas es un proceso complejo, en algunos casos, como ya se mencionó, el proceso puede ser irreversible. Sin embargo, rutas de degradación como la oxidación, la pérdida de alcanolaminas a través de la formación de sales térmicamente estables (HSS), la degradación térmica, degradación inducida por CO₂, la degradación por CO, degradación sulfúrica y poli-sulfúrica, reacción de alcanolaminas con ácidos fuertes degradación causada por COS y la degradación térmica, permiten la producción de ácidos orgánicos que no influyen en demasía en los procesos de corrosión.

Respecto a lo anterior, se tiene que autores como Morero y Campanella²⁸ en su estudio de purificación de biogás a partir de soluciones aminas ofrecen como discusión de resultados que

²⁶ Ibid. p. 52

²⁷ Ibid. p. 53

²⁸ MORENO y CAMPANELLA. Simulación del Proceso de Absorción Química con Soluciones de Aminas para la Purificación Biogás. *Información Tecnológica*. 2013. Pág. 25-32.

Los procesos convencionales de absorción-desorción son procesos que han sido investigados ampliamente para el gas natural y los gases de combustión. Esta tecnología madura permite hacer un uso adecuado de la misma para el caso particular del biogás, obteniendo resultados muy buenos en los niveles de metano alcanzados (cerca al 97%). Sin embargo, no dejan de ser muchas las variables que se deben analizar para diseñar una unidad óptima de purificación de biogás. En este trabajo se discutieron algunas de ellas para el proceso de absorción con aminas. Para ello, se simuló en ProMax® un proceso convencional de absorción-desorción para seis tipos de soluciones de aminas (MEA, DEA, DGA, MDEA) o mezclas de ellas (MDEA+MEA, MDEA+ DEA), mostrando altos niveles de purificación, siendo la DGA la que presenta las mayores ventajas al lograr mejores rendimientos (97,3% de CH₄) con un menor consumo de energía (5,25 MMBTU/h)²⁹.

En consecuencia, si se obtiene un elevado margen de remoción de impurezas del gas a partir del uso de aminas ha de tener un indicador importante para la disminución de procesos de corrosión que aparezcan por la existencia de sustancias ácidas. Desde el uso de las aminas se constituye una práctica importante para la prevención y tratamiento de procesos de corrosión al interior de gasoducto. De esta manera aparece también una relación importante entre los procesos de corrosión y la pureza de las sustancias de tratamiento que atraviesan las superficies en cuestión. Es decir que, si se habla de gasoductos, es importante considerar dentro de las variables a evaluar para la elaboración de estrategias para la inhibición, los índices de pureza del gas.

Estudio a priori para la construcción de gasoducto en relación a la prevención o inhibición de la corrosión: aspectos de otras variables

Como se ha venido explicando a lo largo de este estudio, la corrosión es un proceso que no solo debe entenderse como una situación emergente, sino que puede y debe pensarse incluso desde el momento en el que se construyen los proyectos de gasoductos. Es así como aparece para referencia de autoridad en esta contemplación la multinacional³⁰ quien realizó un estudio especializado para la construcción de una nueva planta en Tepeji, México. Uno de los factores clave de tal, que la multinacional contempla es la prevención de la corrosión del gasoducto. Para la prevención de la corrosión interna el estudio, la figura 5 señala los siguientes valores que determinan la efectividad de la acción.

Figura 5. Escala de valores para la efectividad de la acción

Tipo de protección anticorrosivas	Puntos
Ninguno	0
Monitoreo Interno	2
Inyección de inhibidores de corrosión	4
Recubrimiento Interno	5
Medidas operacionales	3
Corridas de "Diablos"	3

Fuente: Tomado de Praxair (2006)

²⁹ Ibit. p. 80

³⁰ PRAXAIR. *Gasoducto Praxair, planta Tepeji. Estudio de riesgo nivel cero*. México: Praxair 2006. Pág. 38

La anterior figura se interpretaría, de la siguiente forma:

Ninguno: para cuando no se están tomando acciones que minimicen el riesgo por corrosión interna³¹.

Monitoreo interno: hecho por dos de las siguientes opciones: a) una sonda que transmita continuamente medidas eléctricas que indican una potencia de corrosión o b) un testigo de corrosión que actualmente se corroe en la presencia del flujo de los productos y es removido y medido periódicamente.³²

Inyección de inhibidores de corrosión: comprende la inyección de ciertos productos químicos que reduzcan o inhiban la corrosión. Dichos químicos son re aplicados constantemente para poder reemplazar el inhibido que haya sido absorbido o desplazado. Cuando se tenga actividad microbiana, entonces el biocida podrá agregarse directamente al inhibidor³³.

Recubrimiento interno: creación de los denominados "forros de ductos". Esto es común cuando el ducto es aislado de un producto potencialmente dañino, por un material que es compatible con el producto que está siendo transportado³⁴.

Medidas operacionales: cuando el producto es normalmente compatible con el material del ducto, pero donde las impurezas corrosivas pueden ser introducidas, las medidas operacionales son usadas para prevenir estas impurezas. Los sistemas usados para deshidratar o filtrar un producto o mantener la temperatura operacional, sirven de ejemplos³⁵.

Corridas de "diablos": los diablos son usados para limpiar el interior del ducto, separar o empujar productos. En el diseño del diablo se incluye la velocidad, distancia y fuerza³⁶.

A partir de lo anterior, el equipo de Praxair establece los manuales para los posibles casos de intervención del ducto, en los que se requiera atender procesos de corrosión. Así, pues, establecen dentro de sus opciones protección catódica. En ese sentido, se intervendrá con este tipo de protección y se dará la asignación de puntos si y solo si se cumplen los siguientes criterios:

- Que proporcione suficiente fuerza electromotriz para anular cualquier potencial de corrosión.
- Se reúna suficiente evidencia para asegurarse que el sistema está trabajando apropiadamente.

³¹ Ibid. p. 38

³² Ibid. p. 38

³³ Ibid. p. 38

³⁴ Ibid. p. 38

³⁵ Ibid. p. 38

³⁶ Ibid. p. 38

El estudio señala que, respecto al primer criterio, “el potencial del ducto al suelo de un mínimo de 0.85 milivolts medido por un electrodo de referencia como el sulfato de cobre-cobre, es el nivel general de protección catódica que reúna el primer criterio”³⁷, referenciándose en las políticas de manejo de los Estados Unidos. Sin embargo, debe hacerse la salvedad de que el nivel de la protección catódica es un tema que debe tratarse con sumo cuidado pues si se tiene demasiada corriente podría averiarse el ducto.

Luego, para el segundo criterio se establece que, en relación al mantenimiento de los equipos empleados en la protección catódica se debe mantener un proceso regular con intervalos cortos para la inspección de las piezas.

Para esta se estiman, 8 puntos con la siguiente lista de puntuación tal y como se muestra en la figura 6:

Figura 6. Lista de puntuación para protección catódica

Condición	Puntos
Reúne los criterios generales o cuentan con un sistema efectivo	8
No reúne los criterios generales o no cuentan con un sistema efectivo	0

Fuente: Tomado de Praxair (2006)

El mismo estudio prevé una protección de corrosión, por revestimiento. Así, para la reducción del potencial de corrosión, los autores estiman cuatro factores de incidencia en el revestimiento: calidad del programa de corrección de defectos, calidad de la aplicación del revestimiento, calidad del revestimiento y calidad del programa de inspección. Para esta se establece una puntuación de 10, con los siguientes valores (ver tabla 7):

Figura 7. Asignación de valores para materiales de revestimiento

Clasificación	Puntos
Bueno	3
Regular	2
Pobre	1
Ausente	0

Fuente: Tomado de Praxair (2006)

Para la explicación de la figura anterior, el autor describe:

Debido a que la máxima puntuación es de 10, se debe de convertir esta escala a dicha puntuación. Como el máximo valor puede ser 12 que es 4 (factores) x 3

³⁷ PRAXAIR. *Gasoducto Praxair, planta Tepeji. Estudio de riesgo nivel cero*. México. 2006. Pág. 24-38

(máxima Puntuación), se deben de multiplicar los puntos de la evaluación por 10/12 para reportar el valor sobre una escala de 0 a 10 puntos. Para cada uno de los factores, las puntuaciones se estiman de la manera siguiente³⁸:

- Bueno: $(3 \times (10/12)) = 30/12$
- Regular: $(2 \times (10/12)) = 20/12$
- Pobre: $(1 \times (10/12)) = 10/12$
- Ausente: (0)

Con relación a lo expresado, un aspecto importante y no precisamente involucrado dentro de un proceso de intervención es la química, la electroquímica o la ingeniería de metales, siendo este un estudio que contempla un factor cualitativo, si se quiere, relevante para el mantenimiento de los gasoductos y el manejo de los mismos en relación a los estados de corrosión: la antigüedad del gasoducto. Se entiende que estos se crean para una utilidad de entre 30 y 50 años, sin embargo, existen casos en los que se exceden esos límites. El estudio en cuestión estima para este rasgo 4 puntos para el balance, como se puede apreciar en la figura 8:

Figura 8. Puntuación para factores de antigüedad del ducto

Años de Servicio	Puntos
0-5	3
5-10	2
10-20	1
Más de 20 años	0

Fuente: Tomado de Praxair (2006)

En consecuencia, la evaluación del estado de antigüedad del ducto refiere una cualidad importante para el tratamiento y la estimación de la intervención del mismo en relación a la inhibición de procesos de corrosión dentro de los ductos de transporte de gas.

Continúa pues, el estudio, que contempla otra variable de intervención para la prevención de la corrosión: la presencia de otros metales o ductos aledaños al gasoducto en cuestión. Sobre esto los autores antes mencionados reflexionan en que la presencia de otros metales enterrados cerca de los ductos puede generar cortos circuitos o corrientes de interferencia en la protección catódica, si es que esta existe, puesto que en los casos en que el ducto no está protegido catódicamente los metales aledaños pueden generar corrientes galvánicas (interferencia) que pueden provocar procesos de corrosión. Sin embargo, este es un factor que puede tratarse en relaciones de tiempo de exposición y distancia de contacto entre los metales en cuestión. No obstante, se tiene que, en los casos en los que existe contacto directo entre el gasoducto y el metal aledaño

³⁸ Ibit. p. 25

debe intervenir de inmediato y no permitir la construcción del ducto puesto que el contacto físico entre este y otro metal genera una competencia por electrones. Así, “si el otro sistema tiene una electronegatividad alta, el ducto se vuelve un ánodo y dependiendo de la diferencia de afinidad de electrones, el ducto puede experimentar una corrosión acelerada”³⁹.

A forma de aclaración precisa los autores citan:

La proximidad de metales enterrados es un factor principal del riesgo, pero la distancia no está estrictamente medida en pies o en metros; largas distancias pueden ser peligrosas en suelos de baja resistencia o en casos donde el nivel de corriente es relativamente alto. Los puntos deben ser estimados basados sobre cuantos metales enterrados existen a lo largo de una sección⁴⁰.

En relación a esta consideración se propone entonces en el estudio una puntuación de 4 para las estimaciones de proximidad entre el ducto y otros metales, (ver figura 9):

Figura 9. Puntuación para la proximidad entre otros metales y el ducto

Metales próximos al ducto	Puntos
Ninguna	4
1-10	2
11-25	1
> 25	0

Fuente: Tomado de Praxair (2006)

Tomando en cuenta, los datos obtenidos en la figura 9, se tiene una acotación importante que refiere a que la aparición de procesos de corrosión interna de los gasoductos debe pensarse incluso desde los factores externos que condicionan el terreno de estancia y construcción de los mismos. La corrosión como un proceso de transferencia, ganancia y pérdida de partículas subatómicas es afectado por numerosos aspectos que no solo se limitan a los que surgen al interior de la corriente que fluye a través del gasoducto mismo.

³⁹ Ibid. p. 27

⁴⁰ Ibid. p. 29

DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología se fundamentó en la revisión sistemática, por cuanto aborda los estudios primarios, debido a que son considerados como la herramienta para sintetizar la productividad científica, dar validez a estudios de las temáticas abordadas e identificar áreas donde sea pertinente profundizar en futuras investigaciones, también se evidencian resultados tanto cualitativos como cuantitativos⁴¹ sobre la prevención de la corrosión en gasoductos. De acuerdo a Silvina De Souza, para que una investigación sea rigurosa debe tener mínimo 40 a 50 textos referenciados, dado que, de esta manera se da la posibilidad de ampliar el espectro de conocimiento en las áreas de investigación⁴². Además, conceptúa que debe definirse una ventana de tiempo entre 5 y 10 años, puesto que, en ese tiempo se identifican los resultados más recientes e innovadores⁴³.

Fases metodológicas

Con el ánimo de construir el estado del arte referido a la revisión sistemática la prevención de la corrosión interna generada en gasoductos, se establecieron dos fases: análisis bibliométrico y análisis de contenido web, las cuales permitieron general aportes conceptuales y teóricos, recreando y redefiniendo nuevos enfoques y criterios; además, de enriquecer y profundizar la información existente.

De acuerdo a Tranfield, Denyer & Smart, (2003) la revisión sistemática está dividida en tres fases, las cuales son: a) Análisis bibliométrico b) Análisis del contenido Web y c) Revisión Sistemática de la Literatura, esta última no es más que la revisión científica que resultó de la búsqueda en las bases de datos. Estas a su vez se subdividen en ocho etapas, a saber: a) Identificación de la necesidad de investigación, b) Planteamiento del protocolo de búsqueda, c) Desarrollo del protocolo de búsqueda, d) Selección de los estudios, e) evaluación de la calidad de los estudios, f) Recopilación de los datos, g) Síntesis de la información y h) Reporte y publicación de los resultados⁴⁴.

Análisis Bibliométrico:

Planificación de la revisión para el análisis de la literatura científica. Esta fase de análisis de la producción científica se realizó mediante la Bibliometría, que

⁴¹ FERREIRA, I. y ALONSO, Coello. Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. Revista Española de Cardiología. 64(8). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.03.029> 2011. Pág. 688–696

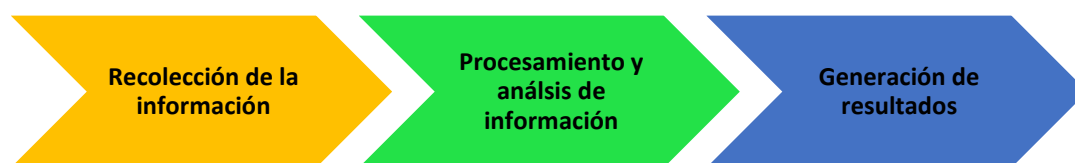
⁴² SOUZA, M. S. La centralidad del estado del arte en la construcción del objeto de estudio. British Journal of Management, 14(3). Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>. 2007. Pág. 27–31

⁴³ LILIAN, Nassi Calò. La miopía de los indicadores bibliométricos. Retrieved from. Disponible en: http://blog.scielo.org/es/2017/06/01/la-miopia-de-los-indicadores-bibliometricos/#.Wt4_54jwY2w. 2007. Pág. 49-57

⁴⁴ TRANFIELD, DENYER y SMART. 2003

consiste en la aplicación de métodos matemáticos para analizar la literatura, con el fin de identificar en la productividad intelectual, en primer lugar los indicadores de actividad, que muestran el número de publicaciones, citaciones, tendencias, e institucionalidad; y segundo, la actividad de impacto, documentos recientes más citados, que permiten medir el posicionamiento de las instituciones que publican sobre los temas y las áreas de estudio que influyen sobre las temáticas, a través de datos estadísticos⁴⁵. (Ver figura 5).

Figura 10. Etapas de la Bibliometría.



Adaptado de Martínez y Becerra, (2013).

Recolección de la información.

La recolección de la información, inicia con la identificación de documentos mediante la selección de las bases de datos en la que se efectuó la búsqueda; llevando a cabo una revisión exploratoria para construir una ecuación de búsqueda, por medio de una combinación de palabras clave. En esta fase se definen los criterios de inclusión y exclusión y la ventana de tiempo para la revisión de la literatura. Todo esto constituye lo que se denomina el protocolo de búsqueda en las bases de datos multidisciplinarias. Inicialmente se ingresó a las bases de *SCOPUS*, *ISI WoS*, *Ebsco Host*, con el fin de indagar en cual se alberga amplitud de información que aportará al presente estudio. Una vez, ya generadas las posibles ecuaciones, se prosiguió a la validación de los documentos encontrados sobre la prevención de la corrosión interna en gasoductos, con el propósito de seleccionar la ecuación que más se ajustara a los requerimientos investigativos.

Procesamiento y análisis de la información.

Por otra parte, el procesamiento y análisis de la información, se realizaron en dos momentos, que se denominaron a priori y a posteriori. Esta sub etapa consistió en los análisis bibliométricos de la productividad científica antes y después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, para la identificación de textos pertinentes a la temática, entre esta ventana de tiempo, áreas de estudio, idioma y otros que se puedan presentar en la base de datos, dado que estos dependen de la plataforma científica seleccionada. Por último, se generaron los resultados, donde se identificó las variables a investigar “corrosión interna” que

⁴⁵ ESCORCIA, T. *El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado*. Pontificia Universidad Javeriana. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis209.pdf>. 2008

orientaron al cumplimiento de la prevención e inhibición generada en gasoductos y otros materiales metálicos que han sido deteriorado a causa de este fenómeno, además de los daños que causa al medio ambiente, en dinámicas de publicación: como año, áreas de investigación, principales autores, entidades financiadoras y países líderes.

Una vez identificadas las tendencias cuantitativas del tema prevención e inhibición de la corrosión interna en gasoductos, tomando en cuenta la escasa producción científica de la temática, se procedió a realizar el “Análisis de Contenido Web”, que no es más que la técnica de carácter cualitativo que le da fundamento epistemológico tanto al planteamiento del problema de estudio, como al marco teórico conceptual⁴⁶.

La información y datos relevantes para este análisis se encuentran en los sitios web, que contienen la literatura gris, integrada por toda las comunicaciones que se distribuyen en medio formales sin codificación como el ISBN, entre estos textos están las tesis de pregrado, posgrado y doctorado, que se encuentran en los repositorios de las universidades, las memorias, actas de congresos, simposios y demás eventos científicos; patentes, normas y otros documentos que dan cuenta de los avances investigativos de los centros especializados (Currás, 1998), por cuanto se le considera como una herramienta que da valor a los contenidos allí alojados, en otras palabras, también son conocidas como fuentes primarias de información⁴⁷.

Con base en lo anterior, es necesario especificar cuál es la fuente de esa información, para así realizar el rastreo de datos adecuado, que conlleva a la categorización en unidades de análisis, con el fin de generar un análisis completo acerca de la temática de estudio⁴⁸, que en este caso es la revisión de la prevención e inhibición de la corrosión internada generada en gasoductos. Este análisis se distribuye en cuatro etapas, a saber: a) Análisis previo o lectura de documentos, para identificar las temáticas generales, b) Preparación del material en unidades de análisis, por tal razón se plantea la recolección de datos como el título del documento, autor, año de publicación, palabras clave del estudio y la respectiva bibliografía, c) selección de esa unidad de análisis, donde se categorizan, d) Explotación de los resultados, donde se reorganiza el material y se realiza el respectivo análisis⁴⁹.

⁴⁶ MAYER & OUELLET. Méthodologie de recherche pour les intervenants sociaux, Boucherville, Gaëtan Morin Éditeur, 1991. Pág. 537. *Nouvelles Pratiques Sociales*, 5(2), Pág. 218. <https://doi.org/10.7202/301191ar>. 1991.

⁴⁷ JIMÉNEZ. Web Semántica y Sistemas de Información Documental. España. Retrieved from http://www.academia.edu/235900/Web_semántica_y_sistemas_de_información_documental. 2009

⁴⁸ PIÑUEL. Epistemología , metodología y técnicas del análisis de contenido. *Estudios de Sociolingüística*, 3(1). 2002. Pág. 1-42

⁴⁹ LÓPEZ. El análisis de la realidad social Métodos y técnicas de investigación. El Análisis de La Realidad Social. Métodos Y Técnicas de Investigación, 35. 2000

**Presentación de los resultados de la revisión sistemática:
Prevención e inhibición de la corrosión interna generada en gasoductos.**

En esta tercera fase se identificaron los enfoques, metodologías y categorías la prevención de la corrosión interna generada en gasoductos, al igual que la conceptualización de los diferentes procesos que se han aplicado en esta área de trabajo; por su parte, esta fase permitió la orientando a la determinación de alternativas de interacción entre las industrias que llevan a cabo este tipo de proceso. Los resultados obtenidos en el análisis, permitieron conocer iniciativas o estrategias que mejoren la prevención y el uso de la corrosión en los materiales metálicos y gases, con el fin de que sean pertinentes en la implementación de los contextos comunitarios para contribuir al cumplimiento del cuidado de los gasoductos en cuanto su reacción a la corrosión.

Cabe expresar, que la selección de la base de datos se realizó a través de la búsqueda de documento mediante el uso de las diferentes plataformas de búsqueda de la Biblioteca virtual de la Universidad Industrial de Santander, ya que cuenta con los recursos necesario para realizar la búsqueda exhaustiva en línea de base de datos multidisciplinarias, los softwares *Scopus* y *E-Libro* fueron excluidas al no encontrarse documentación basada en esta temática.

La base de datos seleccionada, para la realización de este estudio fue *Is/ Web Of Science* por ser una plataforma Web que recoge las referencias de las principales publicaciones científicas de cualquier disciplina del conocimiento, tanto científico como tecnológico, humanístico y sociológicos⁵⁰. Cabe expresar que la decisión de optar esta base de datos, fue el mayor número de contenidos en comparación con las demás bases de datos referentes al tópico de prevención de la corrosión interna generada en gasoducto, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de bases de datos sobre el tópico de investigación.

BASE DE DATOS	SCOPUS	WEB OF SCIENCE	CRCNET BASE	E-LIBRO	E-BRARY	EBSCO HOST	JSTOR
N° Documentos	12	1800	9	9	1782	158	5

Fuente: Rodríguez (2019). Elaboración propia.

En este sentido, la selección de esta herramienta permitió la identificación de documentos científicos, por ser una fuente de información con mayor reconocimiento a nivel mundial, además, de integrar una mayor cantidad de documentos en el área científico, en comparación con otras bases de datos como las mencionadas.

⁵⁰ FECYT. *Web of Science* . Obtenido de <https://www.fecyt.es/es/recurso/web-science>. 2018

Una vez obtenida la primera etapa se procedió a la búsqueda exploratoria. En la segunda etapa se desarrolló una búsqueda exploratoria en la base de datos previamente seleccionada, desde la construcción de una ecuación de búsqueda mediante el ingreso de diferentes combinaciones de términos o palabras clave, esto se realizó con el fin de relacionarse con la base de datos, el tópico a investigar, la definición de criterios de selección y la ventana de tiempo definida en la revisión de la literatura desde el 2009 al 2019.

La tercera etapa consistió en el planteamiento y desarrollo del protocolo de búsqueda. Con los insumos de la etapa anterior se construyó el protocolo de búsqueda que incluyó el proceso de prototipado de la ecuación (con la combinación de palabras clave), que se utilizó en la base de datos dando como resultado información relevante en la ventana de tiempo de 2009 a 2018. En esta etapa se definieron los criterios de selección (inclusión y exclusión), con el fin de filtrar los documentos para obtener el listado de artículos potenciales para la revisión. Asimismo, a través de un proceso de análisis, valoración y aprobación se definió la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles han sido las estrategias, enfoques y metodologías aplicadas para la prevención de la corrosión interna e inhibición genera en gaseoducto en los últimos diez años de estudio?

En la Tabla 2, se presentan las características y criterios de búsqueda definidos durante la etapa de exploración de la información con la finalidad de establecer los términos relevantes, lo cual se constituyó en insumo para realizar la ecuación de búsqueda.

Tabla 2. Protocolo de búsqueda exploratoria.

Protocolo de búsqueda exploratoria	
Idioma	<i>Inglés, español y portugués</i>
Ventana de tiempo	2009 – 2018
Términos	Interventory, destructive, gas pipelines, chemical, metallurgic, industry, internal corrosion, inhibition, damage, deterioration, gases, metals.
Tipo de documentos	Artículos
Base de datos	Isi Web of Science
Campo de búsqueda	Título, resumen, palabras clave
Criterios de selección (inclusión o exclusión)	<ul style="list-style-type: none"> • Publicaciones que contengan como tema central el objeto de esta investigación. • Publicaciones recientes (de los últimos diez años). • Publicaciones que se encuentren en los 2 idiomas definidos (inglés, español).

Prototipado de la ecuación de búsqueda: de acuerdo con los términos definidos en la fase anterior (Ver Tabla 2), se inició el proceso para el prototipado de la ecuación de búsqueda de artículos científicos; en la Tabla 3, se muestra cómo se fue perfilando la ecuación a medida que se incluían y combinaban los términos

o palabras clave. De esta forma se evidenció en los resultados un decremento en cuanto al número de documentos, por cuanto disminuían en la medida que se aplicaban los criterios de selección tales como: tipo de documento, sub-áreas de conocimiento, idiomas y ventana de tiempo.

Tabla 3. Proceso prototipado para la elaboración de la ecuación de búsqueda.

Ecuación	Criterio de refinación	Número de resultados
<p>"TEMA: ("Corrosión Interna") AND TEMA: ("Internal Corrosion") OR TEMA: ("Internal Corrosion") AND TEMA: ("gas pipeline") AND TEMA: ("innovation ecosystem") OR TEMA: ("innovation management") AND TEMA: ("sustainable development") OR TEMA: (sustainability) AND TEMA: ("oil industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (metallurgical industry) OR TEMA: ("mining industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (miner*) OR TEMA: ("energetic industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (energ*) AND TEMA: ("Design thinking") OR TEMA: ("co-creation") OR TEMA: (creativity)</p> <p>Refinado por: AÑOS DE PUBLICACIÓN: (2018 OR 2013 OR 2008 OR 2017 OR 2012 OR 2016 OR 2011 OR 2015 OR 2010 OR 2014 OR 2009)</p> <p>Período de tiempo: 2001-2018. Índices: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, ESCI."</p>	Ventana de observación / 2008-2017	25.472
<p>("Corrosión Interna") AND TEMA: ("Internal Corrosion") OR TEMA: ("Internal Corrosion") AND TEMA: ("gas pipeline") AND TEMA: ("innovation ecosystem") OR TEMA: ("innovation management") AND TEMA: ("sustainable development") OR TEMA: (sustainability) AND TEMA: ("oil industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (metallurgical industry) OR TEMA: ("mining industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (miner*) OR TEMA: ("energetic industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (energ*) AND TEMA: ("Design thinking") OR TEMA: ("co-creation") OR TEMA: (creativity)</p> <p>Refinado por: AÑOS DE PUBLICACIÓN: (2018 OR 2013 OR 2008 OR 2017 OR 2012 OR 2016 OR 2011 OR 2015 OR 2010 OR 2014 OR 2009) AND IDIOMAS: (ENGLISH OR SPANISH OR PORTUGUESE)</p> <p>Período de tiempo: 2001-2018. Índices: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, ESCI."</p>	Idioma (español- inglés- portugués)	23.886

Los datos que se visualizan en la Tabla 3 se obtuvieron de la base de datos *Isi Web of Science*, a partir de la aplicación de la ecuación de búsqueda, una vez termino el prototipado se obtuvo un total de total 1800 artículos potenciales.

Tabla 4. Ecuación de búsqueda definitiva del análisis bibliométrico

Ecuación de búsqueda
((("Corrosión Interna") AND TEMA: ("Internal Corrosion") OR TEMA: ("Internal Corrosion") AND TEMA: ("gas pipeline") AND TEMA: ("innovation ecosystem") OR TEMA: ("innovation management") AND TEMA: ("sustainable development") OR TEMA: (sustainability) AND

TEMA: ("oil industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (metallurgical industry) OR TEMA: ("mining industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (miner*) OR TEMA: ("energetic industry") OR TEMA: (sector) AND TEMA: (energ*) AND TEMA: ("Design thinking") OR TEMA: ("co-creation") OR TEMA: (creativity))

Con base en los datos obtenidos en la ecuación de búsqueda definitiva del análisis bibliométrico (ver tabla 4) y con el total de documentos se procedió a realizar el procesamiento de la información bibliométrica. Este proceso se efectuó en dos momentos:

Procesamiento a priori: la información bibliométrica de los 1800 artículos obtenidos inicialmente se procesó utilizando las herramientas de análisis de *ISI Web of Science*, la cual muestra un análisis visual de los documentos permitiendo evaluar los resultados en las siguientes categorías: año, fuente, autor, y área de conocimiento. Adicionalmente, se generaron las Adunas Clúster Map de palabras clave en el software especializado *VantagePoint*.

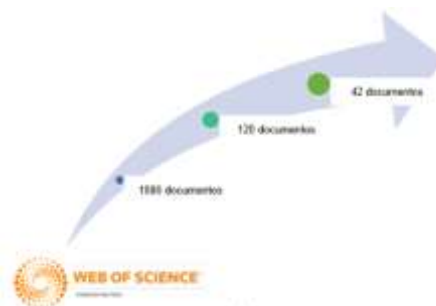
Procesamiento a posteriori: una vez efectuada la selección de 120 documentos por lectura de título, palabras clave y resumen, se realizó el procesamiento de la información bibliométrica de cada uno por las categorías analizadas en los resultados a priori. De acuerdo a lo anterior, se optó por descargar la información bibliométrica individualmente para hacer la selección definitiva de los documentos, para una lectura rigurosa, los cuales se escogieron 42 artículos, para su análisis e identificación de enfoques, metodologías y estrategias en la prevención de la corrosión interna generada en gasoducto.

Generación de resultados de análisis

Planificación de la revisión para el análisis de la literatura científica, desde la Bibliometría

Una vez definidos los objetivos del proyecto de investigación titulado: Revisión sistemática de la literatura: desde la prevención e inhibición de la corrosión interna generada en gasoductos, se generó el proceso de búsqueda, identificación, selección y análisis de la literatura con la ayuda de la base de datos *Web of Science* (Ver Figura 4). De acuerdo, a lo explicado en el apartado de análisis bibliométrico, la metodología aplicada al estudio permitió la obtención de los resultados a priori y a posteriori de los textos.

Figura 11. Proceso de Bibliometría.

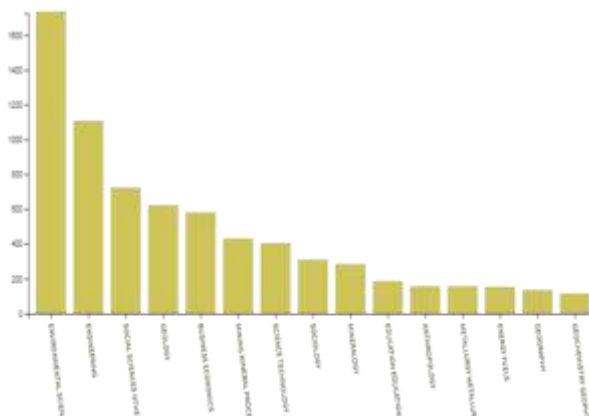


Resultados a Priori.

Luego de construir la ecuación de búsqueda se generaron 1800 resultados, de los cuales se identificarán 4 tópicos a analizar, entre ellos la dinámica de publicaciones por: áreas de investigación, Publicaciones por categorías de investigación, países participantes, año de publicación, i, autoría conjunta en las publicaciones, entidades financiadoras de las investigaciones que derivan en publicaciones y la organización que produce la publicación. A continuación, se describe cada una:

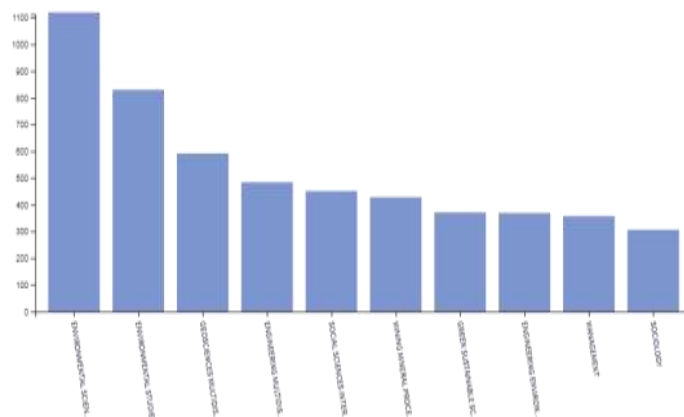
La agrupación de las Figuras 12 y 13, permitieron analizar las áreas de investigación que se resaltan por el desarrollo de productividad entorno a la temática relacionadas a la corrosión interna y su prevención e inhibición en ductos de gas, de acuerdo a la ecuación de búsqueda, sobresale el área ecología de las Ciencias Ambientales con un 39,5% de participación, mientras que en el Gráfico 13, nuevamente queda demostrado que la categoría de investigación más relevante son las Ciencias Ambientales sobresale por el 25,5% de productividad científica.

Figura 12. Publicaciones por áreas de investigación



Fuente: Adaptado de Web of Science (2019).

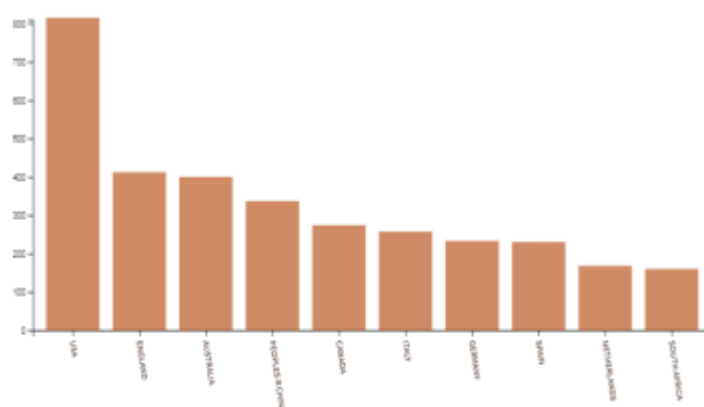
Figura 13. Publicaciones por categorías de investigación



Fuente: Adaptado de Web of Science (2019).

De acuerdo a la Figura 13, se evidencia que Estados Unidos aporta el 18,5% de la productividad, Inglaterra y Australia suman un 18%, lo cual es un 9% cada uno, China contribuye con el 7,5%, a Canadá le corresponde el 6% de los artículos, Italia, Alemania y España 5% cada uno, mientras que a Países Bajos y Sur África le pertenece el 7% de los documentos, sino el 3,5% de cada uno. Este gráfico muestra que la participación de los cinco continentes, lo cual permite tener una variedad de visión de acuerdo a cada contexto.

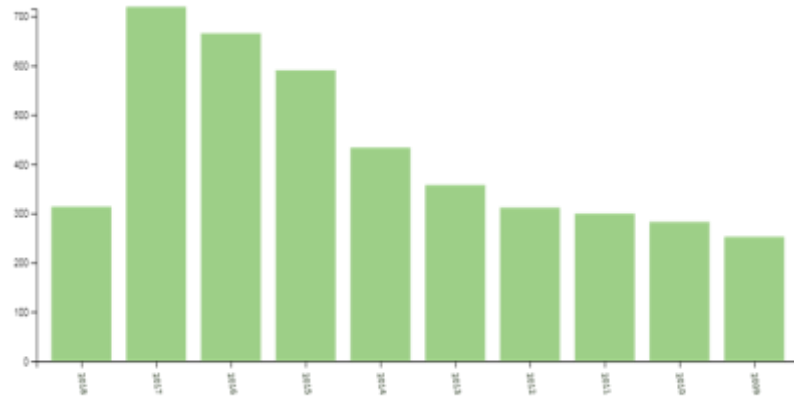
Figura 14. *Publicaciones por países participantes.*



Fuente: Adaptado Web of Science (2019).

Por su parte el Figura 14, muestra que la tendencia de publicaciones fue en aumento desde el año 2008 con el 4,5% de la productividad en la temática de prevención de corrosión interna tanto en materiales metálicos con en C2O Y H2S, llegando al punto máximo en el año 2017 con el 16,5% de aporte, adquiriendo cada siguiente año un valor superior al anterior, teniendo en secuencia el año 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 una productividad de 5,7%, 6,5%, 6,8%, 7%, 8%, 9,5%, 13,5% y 15% respectivamente y para el año 2018 la producción desciende, debido a que no ha cerrado el año para hacer el respectivo cálculo, el cual hasta la fecha aportaba el 7% del total de la producción científica hallada con la ecuación de búsqueda.

Figura 15. *Publicaciones por año*

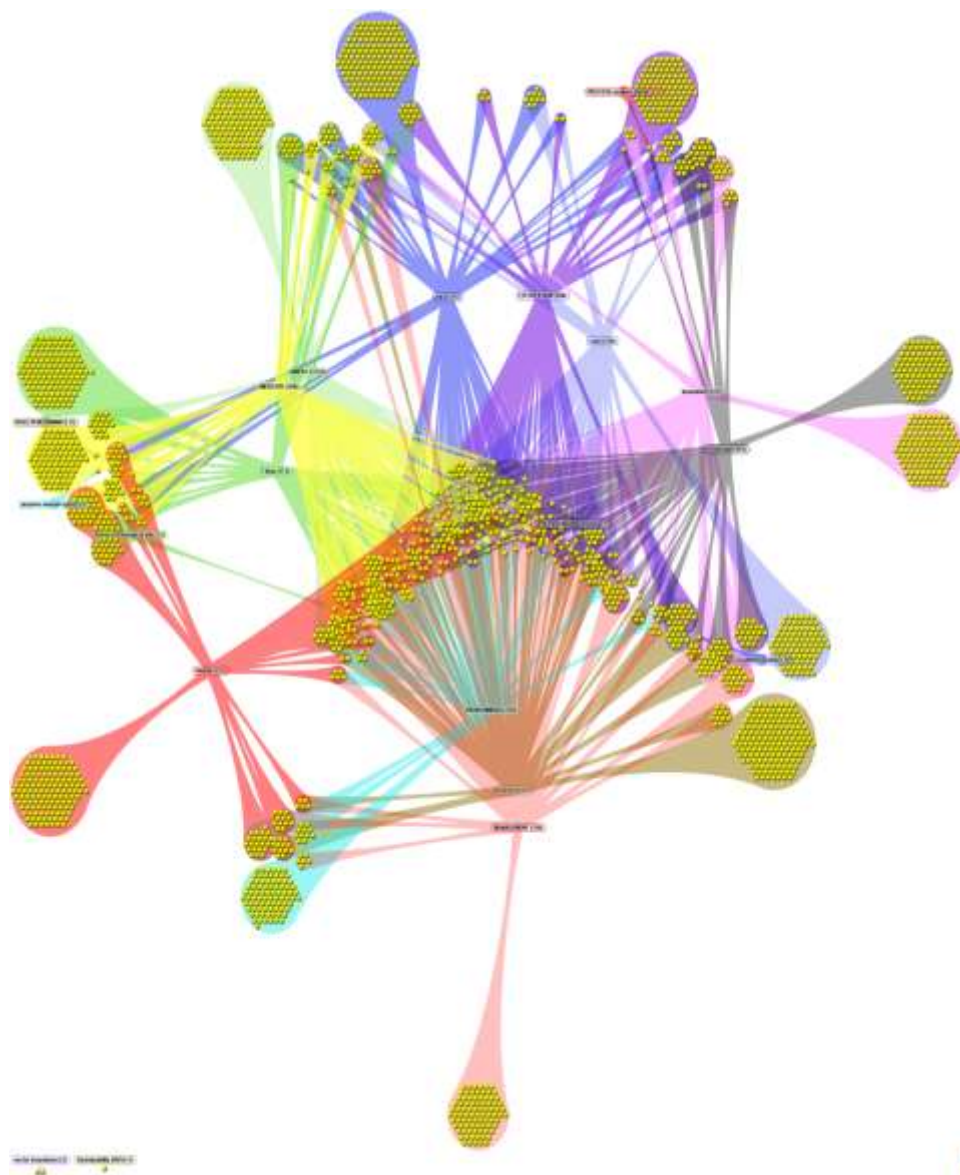


Fuente: Adaptado Web of Science (2019).

En la figura 15, se identifica que luego de aplicar el criterio de exclusión, (teniendo en cuenta la producción científica en inglés, español y portugués), el idioma con mayor preponderancia es el inglés con un 96,5% de aporte en los textos, seguido del español con la contribución del 2,8% y por último se halla el portugués al cual le corresponde el 0,7%, pronunciándose así, la importancia del inglés como el idioma por excelencia para publicaciones científicas independientemente del país de publicación.

Además, durante este análisis bibliométrico se empleó el software de análisis e interpretación de datos *VantagePoint*, permite realizar el análisis cuantitativo desde lo más simple hasta lo más complicado de algunos procedimientos avanzados, manejando un rango de procedimientos analíticos y específicos.

Figura 16. Aduna Clúster Map palabras claves.



Fuente: Adaptado Vantage Point (2019).

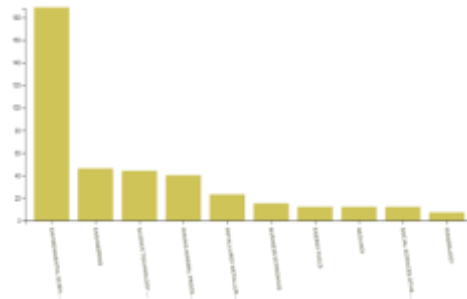
Con respecto, a la Figura 16 se encuentran las palabras clave más utilizadas, las cuales arrojaron prevención, inhibición, corrosión interna dichas palabras son las más utilizadas con mayor conexidad. Igualmente, se observa el gran uso de las palabras y gasoductos, caso y reacción en materiales los cuales también se evidencia una cercana relación. Se encuentra sin vinculación las palabras sostenibilidad, sector y medio ambiente con el resto de las palabras clave analizadas.

Resultados a Posteriori.

Una vez realizada la lectura del título, resumen y palabras clave se identificaron 120 artículos, los tópicos a analizar son los mismos que se identificaron en el apartado anterior, excepto el tópico de autoría conjunta, dado que en esta

preselección de artículos no hubo esta colaboración entre autores, a continuación, se describen:

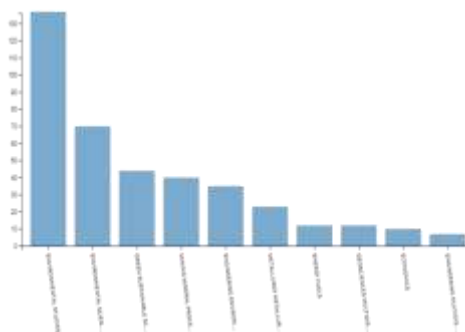
Figura 17. *Publicaciones por áreas de investigación*



Fuente: Adaptado Web of Science (2019).

Dentro de este contexto, la Figura 17 muestra que las Ciencias puras están prácticamente presente de manera transversal en 85 de 120 artículos científicos de la búsqueda realizadas, lo cual equivale al 73%. Por otra parte, las ingenierías aportan el 17% de la productividad, mientras las ciencias tecnológicas y otros tópicos cuentan con el 16%, la minería y procesamiento de minerales el 15%, ingeniería metalúrgica contribuye al 8%, a economía de negocios le corresponde el 5%, combustibles energéticos, geología, ciencias sociales y otros tópicos contribuyen cada uno con el 4,3%, lo que equivale a 11 artículos respectivamente y mineralogía que cuenta con 6 textos con el 2,3% de aporte.

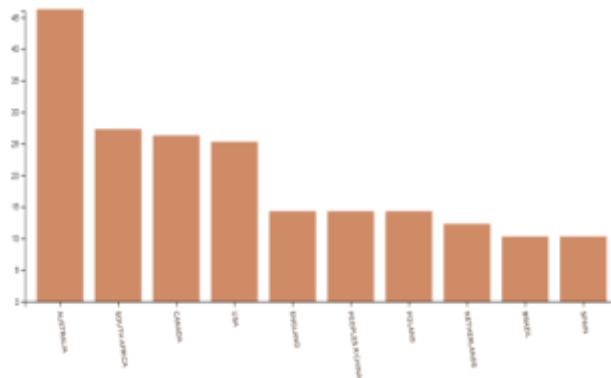
Figura 18. *Dinámica de publicaciones por categorías de investigación*



Fuente: Adaptado Web of Science (2018).

Con base en la Figura 18, los estudios ambientales tienen una repercusión del 54% siendo el aporte de 65 sobre 120 artículos, seguido de las Ciencias Ambientales 27%, Ciencia Tecnológica Sostenible 16%, minería y procesamiento de minerales 15%, combustibles energéticos y geo ciencias multidisciplinares 4%, economía 3%, ingenierías multidisciplinares 2%.

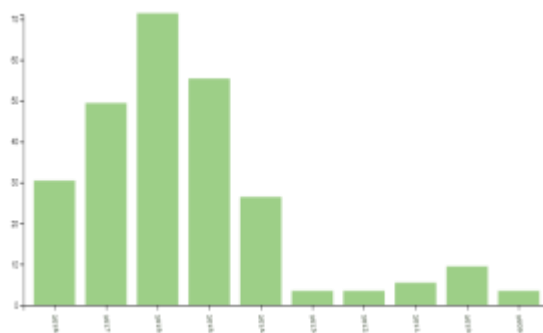
Figura 19. *Publicaciones por países participantes.*



Fuente: Adaptado Web of Science (2019).

En la Figura 19 se puede observar que el orden de países líderes en publicaciones cambió luego de la preselección de los textos mediante la lectura del título, resumen y palabras clave, las cuales deben estar relacionadas, quedando Australia en el primer lugar con el 18% de aportes a la producción científica con 46 textos pertenecientes a autores de este país. Seguido de Sur de África y Canadá con el 10% cada uno de los textos revisados, Estado Unidos con el 5%, Inglaterra, China y Polonia aportan en suma el 16,5% de los textos, lo que equivale al 5,5% cada uno. Países bajos con el 4%, Brasil y España contribuyen cada uno con el 3,9 de la producción científica relacionada a las Prácticas de Innovación Social.

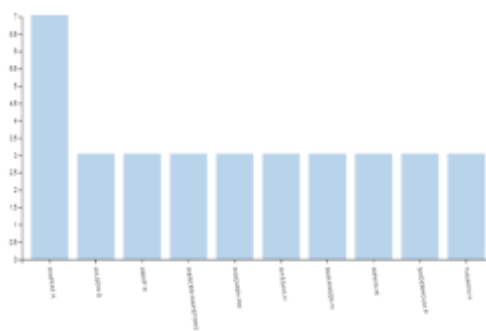
Figura 20. Publicaciones por año.



Fuente: Adaptado Web of Science (2019).

En relación a la Figura 20, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión a la ecuación de búsqueda, se evidenció que no hubo una ascendencia constante en los resultados, tal como se observaba en el análisis antes de plantear la preselección, identificándose que mientras para el año 2013, 2012 y 2009 fueron los años con bajo rendimiento con el 1,7% de aporte a la productividad cada para cada periodo de tiempo, el año 2016 contribuyó con el 27% del total de textos, evidenciándose un aumento en la publicación de productividad científica desde el año 2014 y reduciéndose nuevamente en el año 2017.

Figura 21. Publicación por autores



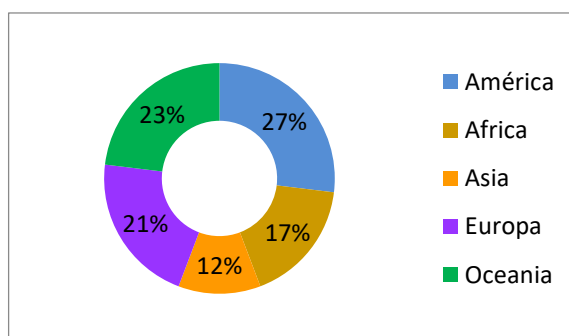
Fuente: Adaptado Web of Science (2019).

En relación a la Figura 21, luego de la preselección de los artículos pertinentes de acuerdo a la lectura del título, resumen y palabras clave se identifica un cambio de autores relevantes, en consideración a la gráfica anterior en los resultados a priori.

Documentos seleccionados de la Bibliometría para la Revisión Sistemática.

De los 120 artículos que generaron de la lectura del título, resumen y palabras clave, se procedió a la lectura extensa y rigurosa de los textos para identificar los que son pertinentes a la temática estudiada, de los cuales se definió que 42 documentos cumplen con los criterios de contener elementos necesarios que sirven para conocer cuáles han sido las estrategias y enfoques que se han puesto en práctica para la prevención de corrosión interna generada en gasoductos en los últimos diez años de estudios.

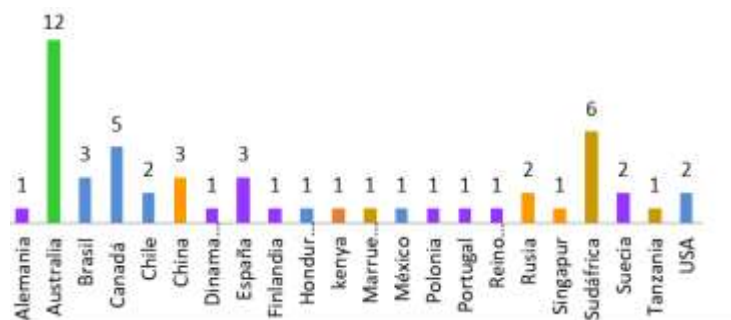
Figura 22. *Dinámica de publicación por continente*



Fuente: Rodríguez (2019). Elaboración propia.

En este sentido, la Figura 22 identifica la dinámica de publicación por agrupación de continente, en el cual América cuenta con 14 documentos equivalentes al 27% de la documentación seleccionada, mientras que Oceanía aporta 12 textos que son el 23%, Europa contribuye con 11 artículos que corresponde al 21%, África proporciona 9 estudios enfocados en la temática, y al continente asiático se le atribuyen 6 documentos que corresponde al 12% de la productividad seleccionada de la temática de estudio.

Figura 23. *Dinámica de publicación por países*

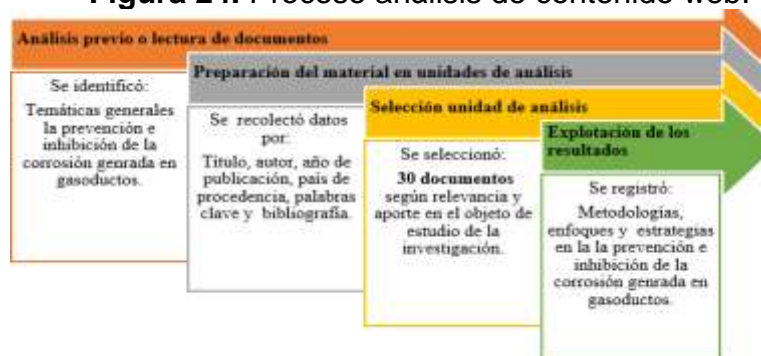


Para el estudio es importante, expresar que los resultados de la Figura 23, evidencia que, el año 2015 fue el más productivo de acuerdo a la temática a estudiar con 16 artículos publicados, el siguiente año con más publicaciones es 2017, con 12 textos, seguido del año 2014 con 8 documentos, los 2016 y 2010 aportaron cada uno 4 textos, para un total de 8 documentos. El año 2018, el cual es el más reciente, por ahora se han publicado 3 artículos relacionados con la temática, mientras que los años 2013, 2012, 2011, 2009 y 2008 aportaron 5 artículos científicos, siendo 1 cada año, relacionados con prevención de la corrosión interna generada en gasoductos.

Desarrollo de la revisión e interpretación desde el análisis de contenido web

En este apartado se desarrolló el proceso del análisis de contenido web, para lo cual se realizó una revisión de documentos de la web 2.0, donde fue necesaria la búsqueda de información tanto en el ámbito nacional y latinoamericano; esto debido a que los resultados del análisis bibliométrico arrojaron poca producción científica en dichos contextos, lo cual permitió robustecer los resultados de la revisión sistemática de los enfoques, metodologías y prácticas relacionadas con la Innovación Social en el Sector Minero Energético (ver Figura 24).

Figura 24. Proceso análisis de contenido web.



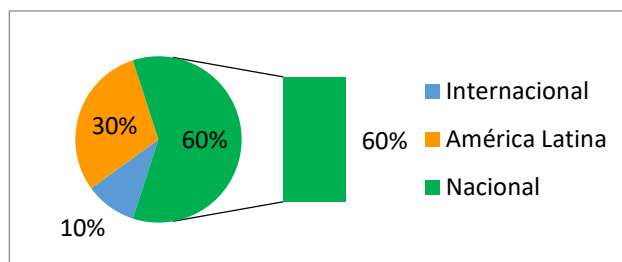
Fuente: Rodríguez (2019). Elaboración propia.

Para la consecución de la revisión de contenido web se utilizó la plataforma Google Académico (en inglés, Google Scholar), el cual es un buscador de Google enfocado y especializado en la búsqueda de contenido y literatura científico académica, en el que se halla literatura como enlaces a libros, artículos de revistas científicas, comunicaciones y ponencias en congresos, informes científico-técnicos, tesis, tesinas y archivos depositados en repositorios.

Resultados del Análisis del Contenido Web.

Con base en la revisión de los contenidos web, la Figura 25 evidencia que la mayor productividad se presenta en el ámbito nacional, con un 60% de los documentos, seguido del ámbito latinoamericano, con el 30% de los textos aportados para este análisis. Asimismo, el 10% restante de los documentos corresponde al ámbito internacional. En otras palabras, una vez realizada la sistematización de la búsqueda de documentos se logró identificar que en el ámbito nacional existe mayor documentación científica en relación a la temática de estudio.

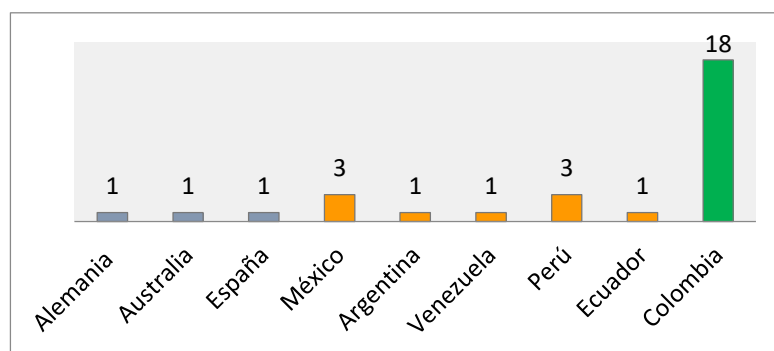
Figura 25. Dinámica de publicación por ámbito.



Fuente: Rodríguez (2019). Elaboración propia.

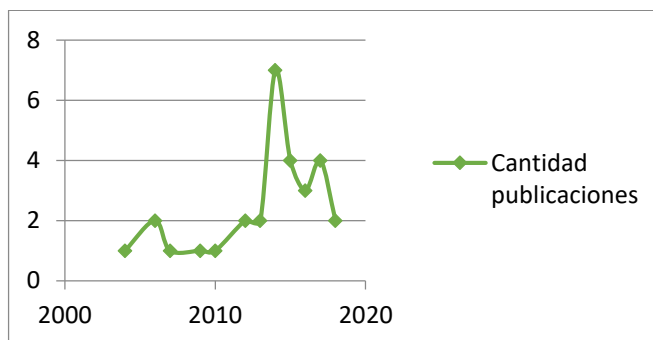
Por su parte, la Figura 35, toma en cuenta los resultados arrojados en la Figura 34, donde la dinámica de publicación por países, demuestra que Colombia promueve la difusión de estas temáticas, contando con 18 textos, seguido de México y Perú con 3 documentos cada uno, para un total de 6 entre los dos países latinoamericanos, mientras que, Alemania, Australia, España, Argentina, Venezuela y Ecuador proporcionan 6 textos entre ellos, es decir 1 cada uno.

Figura 26. Dinámica de publicación por países.



Durante el análisis de literatura, como ya se planteó de Colombia se destacan estudios de Prácticas sobre Innovación Social del Sector Minero Energético los departamentos de Casanare, Yopal, Chocó, Caquetá y Antioquia, los cuales tienen tradición en la explotación de recursos naturales en sus suelos y donde se han generado diferentes tipos de problemáticas ambientales y conflictos sociales que han promovido la construcción de diversas estrategias de solución.

Figura 27. Dinámica de publicación por año.



En la Figura 27 se observa la dinámica de publicación por año, donde se identifica que el año 2014 fue el más productivo con siete documentos relacionados a la temática de estudio, seguido de los años 2015 y 2017 con cuatro textos, el año 2016 con tres, los años, 2006, 2012 y 2013 con dos documentos cada uno, para un total de seis textos de análisis entre estos años, por último los años 2004, 2007, 2009 y 2010 con un hallazgo cada uno para un total de cuatro entradas, mientras que los años 2005, 2008 y 2011 no cuentan con productividad adjudicada.

RESULTADOS

Una vez, realizado los respectivos análisis a los hallazgos de las búsquedas en la base de datos y la literatura gris, se seleccionaron 42 documentos los cuales fueron revisados sistemáticamente y leídos a profundidad aportando datos significativamente en este estudio.

Como resultado de esta revisión documental, la primera referencia sobre el concepto Corrosión, fue la propuesta de Casallas, el cual en su artículo publicado Conceptos básicos de la corrosión estableció que las múltiples definiciones en cuanto a la temática objeto de estudio, varía según su aplicabilidad al campo de las ciencias puras y el proceso que realiza la industria en pro del cuidado de los metales. Cabe resaltar, que el término no era usado de manera formal, se pensaba que la corrosión mejoraría la conservación de los metales en un sentido filantrópico, entendido como donativo voluntario o caridad de las necesidades del sector industrial en pro de la conservación de los minerales.

Los resultados de la presente revisión sistemática arrojan, en un primer momento, la preponderancia de la protección catódica y por revestimiento, tal y como se observa en las publicaciones e investigaciones realizadas por países, especialmente en los países latinos. Significa que son estas las técnicas más utilizadas en latinoamericana para el mantenimiento y control de los gasoductos en relación a los procesos de corrosión. Otro resultado importante es el surgimiento de las técnicas derivadas de la nanotecnología aplicada a la ingeniería de metales, en donde se proponen nuevas formas de nanoestructuras (como parte de técnicas de revestimiento) para la protección de las superficies internas de los ductos.

Por demás se tiene también como parte de los resultados, la contemplación de aspectos externos que inciden en el comportamiento químico de las sustancias y las superficies, originando procesos de aparición de corrosión. Obtenidas estas acotaciones, particularmente de estudio de Praxair (2006) en donde se propone la tenencia en cuenta de condiciones particulares del terreno en el que esté el gasoducto, como contemplación *a priori* en la construcción de plantas o cualquier estructura que requiera de un gasoducto.

Por otro lado, se tiene como resultado importante contemplar las alcanolaminas como sustancias generadoras y precipitadoras de la acidez en los gases de ducto. De ahí que el control riguroso de las alcanolaminas en lugares y condiciones mayormente expuestas a la aparición de las mismas, ha de generar una ventaja frente a la mitigación de los procesos de corrosión interna.

Otro resultado importante a develar es el tratamiento de las aminas sustancias provocadoras o iniciadoras de procesos de corrosión. Frente a esto la reducción por fases resulta ser un procedimiento adecuado no solo por su facilidad de ejecución sino porque representa una inversión reducida en comparación con otras técnicas. Esa reducción por fases, que permite la purificación de aminas no solo beneficia la intervención de procesos corrosivos, sino que también ofrece

una limpieza del producto propiamente dicho, lo que permite obtener un gas más puro.

En adición, se tiene también la importancia de considerar factores externos, e incluso de la corrosión externa, que pueden incidir en procesos de corrosión interna. Ejemplo de estos procesos, la corrosión por estados y del suelo y condiciones atmosféricas, altura y presión del suelo, y falencias producidas por la cantidad, velocidad y demás factores que afectan los coeficientes de resistencia de los metales.

Finalmente, como resultado de la presente también se menciona la disminuida presencia de Colombia en la elaboración de este tipo de estudios. Teniendo en cuenta la variedad de suelos y atmosférica presente en el relieve nacional, resulta necesario la contemplación de mayores avances en el tratamiento de gasoductos, específicamente en sus procesos de corrosión, para ofrecer mayores posibilidades de seguridad y funcionamiento eficaz.

CONCLUSIONES

Como resultado de la revisión sistemática se constata la relación existente la corrosión y las practicas fina y adherida a la superficie base del metal a la que simplemente mancha y le hace perder brillo, así mismo puede considerarse favorable ya que puede proteger o dificultar la continuación de la acción destructiva del proceso de corrosión. En otras circunstancias los productos de corrosión forman una capa porosa de mayor espesor que no ofrece ninguna protección y adicionalmente genera unas condiciones de mala apariencia en el área atacada; para estos casos el proceso de corrosión es continuo y el deterioro no se detiene en algunos gases o materiales.

Cabe expresar, que la búsqueda sistematizada de la literatura reflejaron que la las corrosión interna es un fenómeno complejo que ha sido tratado a través de los años, sin embargo no ha dejado de ser un ente preocupante para la industria metalúrgica, los estudios mostraron los enfoques interdisciplinarios y multidimensionales que admite diversidad de técnicas e instrumentos metodológicos que contribuyan al bienestar, influyendo directa y positivamente en la resolución de los conflictos sociales y ambientales que enfrentan las el sector industrial producto de sus actividades extractivas en el uso de corrosivos para restaurar los metales sin tener en cuenta el daño que causa internamente.

Por su parte, la Bibliometría fue una herramienta fundamental en la toma de decisiones a partir de la revisión de literatura científica global, favoreciendo en los procesos de identificación de tendencias y caracterización de la investigación. Esta metodología de investigación permite establecer un protocolo de búsqueda, que permite hacer una selección más exhaustiva y rigurosa de información según el objeto de estudio en plataformas de búsqueda especializadas. En la base de datos analizada, Isi Web of Science, se evidencia el crecimiento anual sobre el tópico prevención e inhibición de la Corrosion generada en gasoductos, el cual cada vez es más analizado y estudiado desde la responsabilidad social empresarial y las acciones de prevención con el medio ambiente. Asimismo, se evidencia que el idioma inglés es el idioma en que más se hacen publicaciones sobre esta temática.

En el ámbito internacional se resalta el número de publicaciones científicas sobre el uso de corrosión, métodos, enfoques y estrategias usadas en el Sector industrial de Australia, Sudáfrica y Canadá, países que cuentan con procesos de obtención de los metales en estado puro, recurriendo a la separación de minerales a partir de yacimientos (rocas menas), lo cual supone un gran aporte energético, sin embargo el daño ocasionado durante su proceso conlleva a los experto a dar solución al uso inadecuado de corrosivos en pro del beneficio industrializados y tecnificados a nivel mundial. Por su parte, la investigación respondió al diseño e implementación de diversas iniciativas y estrategias para contrarrestar los impactos de estas industrias que recurren a la corrosión haciendo daño a los ductos de gas. Por otra parte, en el ámbito nacional y latinoamericano fue escasa la documentación científica en bases de datos por lo cual se requirió la revisión de estudios como informes de gestión, guías,

trabajos de grado y otros textos contenidos en la web para su análisis e identificación de prácticas, enfoques y metodologías en cuanto a la prevención e inhibición de la corrosión generada en gasoductos, la cual tienen una participación y rol determinante en el desarrollo económico de cual país afectado la sostenibilidad del medio ambiente.

Del mismo modo, es importante destacar que durante la investigación se evidenció que el trabajo social está taxativamente vinculado con la responsabilidad que tiene la industria en el uso de estos componentes, esto debido a que la corrosión causa pérdidas enormes y desgracias incalculables, debido a los numerosos accidentes producidos por la rotura de piezas debilitadas. Esto ocasiona que la corrosión sea responsable de que de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ de la producción mundial de acero se dedique a la reposición de las estructuras metálicas deterioradas. Con base en los resultados encontrados, se evidencia un que esta temática se desempeña desde las dimensiones de daños internos y externos en la aplicabilidad tanto de gases como de materiales metálicos, consolidando el componente social, articulándolo con el económico y ambiental que componen los territorios.

Es importante mencionar que la exposición al oxígeno también constituye una fuente importante de corrosión de la columna de perforación. Durante su bajada y su extracción del pozo, la columna de perforación se expone al oxígeno atmosférico. Finalmente, las etapas de este desarrollo y la energía utilizada generan costos específicos que pueden ser elevados, por lo cual, no cabe la menor duda de que ningún proyecto quisiera perder dicha inversión. He aquí, la importancia del mantenimiento continuo de los gasoductos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CASALLAS, Q. Conceptos básicos de la corrosión. *Revista Ingenio Libre*, 29-32. Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista5/articulos/Conceptos-basicos-de-la-corrosion-2.pdf>. 2005. Pág. 39-41
2. NAUSHA, Asrar; BRUCE, Mackay. La corrosión: La lucha más extensa. *Oilfield Review*, 28-2. Disponible en: file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/03-corrosion_unlocked.pdf. 2016. Pág. 1-16
3. SALAZAR, José. Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica). 2015. Pág. 128
4. VÁSQUEZ, W. *Simulación de la unidad de tratamiento de gas combustible con aminas de la refinería estatal Esmeraldas*. Quito: Universidad Central de Ecuador. 2013
5. BRUCE, MARKO, JACKSON, MELOT, J., SHEIE, & VITTONATO. La corrosión: La lucha más extensa. *Oilfield Review*. 2016. Pág. 36-50.
6. MASSA, Julio; GIUDICI, Alejandro. Daño por efectos de oxidación en gasoductos. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Obtenido de: <http://oilproduction.net/files/226-673-1-PB.pdf>. 2010. Pág. 119-138.
7. MORENO y CAMPANELLA. Simulación del Proceso de Absorción Química con Soluciones de Aminas para la Purificación Biogás. *Información Tecnológica*. 2013. Pág. 25-32.
8. PRAXAIR. *Gasoducto Praxair, planta Tepeji. Estudio de riesgo nivel cero*. México: Praxair 2006. Pág. 38
9. FERREIRA, I. y ALONSO, Coello. Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista Espanola de Cardiologia*. 64(8). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2011.03.029>. 2011. Pág. 688–696
10. SOUZA, M. S. La centralidad del estado del arte en la construcción del objeto de estudio. *British Journal of Management*, 14(3). Disponible en: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>. 2007. Pág. 27–31
11. LILIAN, Nassi Calò. La miopía de los indicadores bibliométricos. Retrieved from. Disponible en: http://blog.scielo.org/es/2017/06/01/la-miopia-de-los-indicadores-bibliometricos/#.Wt4_54jwY2w. 2007. Pág. 49-57
12. TRANFIELD, DENYER y SMART. 2003

13. ESCORCIA, T. *El análisis bibliométrico como herramienta para el seguimiento de publicaciones científicas, tesis y trabajos de grado*. Pontificia Universidad Javeriana. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis209.pdf>. 2008
14. MAYER & OUELLET. *Méthodologie de recherche pour les intervenants sociaux*, Boucherville, Gaëtan Morin Éditeur, 1991. Pág. 537. *Nouvelles Pratiques Sociales*, 5(2), Pág. 218. <https://doi.org/10.7202/301191ar>. 1991.
15. JIMÉNEZ. *Web Semántica y Sistemas de Información Documental*. España. Retrieved from [http://www.academia.edu/235900/Web semántica y sistemas de información documental](http://www.academia.edu/235900/Web_semántica_y_sistemas_de_información_documental). 2009
16. PIÑUEL RAIGADA, 2002
17. LÓPEZ, El análisis de la realidad social Métodos y técnicas de investigación. *El Análisis de La Realidad Social. Métodos Y Técnicas de Investigación*, 35. J. Epistemología , metodología y técnicas del análisis de contenido. *Estudios de Sociolingüística*, 3(1), 1–42. 2000
18. FECYT. Web of Science . Obtenido de <https://www.fecyt.es/es/recurso/web-science>. 2018
19. Chillingar GV, Mourhatch R y Al-Qahtani GD: *The Fundamentals of Corrosion and Scaling for Petroleum and Environmental Engineers*. Houston: Gulf Publishing Company, 2008. 4.
20. Kumar AVR y Balasubramaniam R: "Corrosion Product Analysis of Corrosion Resistant Ancient Indian Iron," *Corrosion Science* 40, no. 7 (1º de julio de 1998): 1169–1178.
21. Balasubramaniam R: *Story of the Delhi Iron Pillar*. Delhi, India: Foundation Books Pvt. Ltd, Cambridge House, 2005.
22. Groysman A: *Corrosion for Everybody*. Dordrecht, The Netherlands: Springer Science+Business Media, 2010. 6.
23. Ahmad Z: *Principles of Corrosion Engineering and Control*, 1st ed. Burlington, Massachusetts: Butterworth-Heinemann, 2006.
24. Kermani MB y Harrop D: "The Impact of Corrosion on the Oil and Gas Industry," *SPE Production & Facilities* 11, no. 3 (Agosto de 1996).
25. Smith, G. L., & Brooks, L. (2018). Incorporation of the socio-cultural dimension into strategic long-term planning of mineral assets in South Africa. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 118(4), 331–336. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n4a1>

26. Souza, M. S. (2007). La centralidad del estado del arte en la construcción del objeto de estudio. *British Journal of Management*, 14(3), 27–31. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
27. Trujillo, J. (2017). Tecnología E Innovación En La Empresa. Retrieved from [https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/613143/mod_resource/content/1/Estrategia empresarial y tecnológica.pdf](https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/613143/mod_resource/content/1/Estrategia_empresarial_y_tecnologica.pdf)
28. Tunjano, A. C. (2016). Innovación Social desde los actores en la minería: caso del municipio de Buriticá, Departamento de Antioquia. Universidad de Manizales. Retrieved from [http://www.colombiapuntomedio.com/Portals/0/Archivos2016/AportesAcademicos2016/Buritica minería y sociedad.pdf](http://www.colombiapuntomedio.com/Portals/0/Archivos2016/AportesAcademicos2016/Buritica_mineria_y_sociedad.pdf).
29. Charng T. y Lansing F. (1982). Review of Corrosion causes and corrosion control in a technical facility. NASA Technical Reports, TDA Progress Report 42–69, pp. 145–156.
30. ECCA (2011). The Basics of Corrosion. Technical Paper. Obtenido desde: <http://www.prepaintedmetal.eu/repository/Annina/Basic%20of%20corrosion%20021211.pdf>.
31. Javaherdashti R. Microbiologically Influenced Corrosion - An Engineering Insight. Springer London. DOI:10.1007/978-1-84800-074-2. 2008
32. Revie R. W. Uhlig's Corrosion Handbook. Wiley & Sons, Inc: USA. 2011
33. Revie R. W. y Uhlig H. H. Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering. Wiley & Sons, Inc: USA. 2008
34. Schweitzer. P. A. Fundamentals of Corrosion – Mechanisms, Causes and Preventive Methods. Taylor & Francis Group, LLC: USA. 2010
35. Schweitzer. P. A. Paints and Coatings – Applications and Corrosion Resistance. Taylor y Francis Group, LLC: USA. 2006